

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

FERNANDO HENRIQUE LEMOS

**FLUXOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS E DE NUTRIENTES
NO RIO DUAS BOCAS, CARIACICA – ES**

VITÓRIA
2018

FERNANDO HENRIQUE LEMOS

**FLUXOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS E DE NUTRIENTES
NO RIO DUAS BOCAS, CARIACICA – ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do professor Dr. Eberval Marchioro.
Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso.

VITÓRIA
2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas e Naturais da
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

- L557f Lemos, Fernando Henrique, 1989-
Fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes no rio Duas
Bocas, Cariacica - ES / Fernando Henrique Lemos. – 2018.
89 f. : il.
- Orientador: Eberval Marchioro.
Coorientador: Gilberto Fonseca Barroso.
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal
do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.
1. Bacias hidrográficas – Cariacica (ES). 2. Erosão. 3.
Sedimentos fluviais. 4. Nutrientes. I. Marchioro, Eberval. II.
Barroso, Gilberto Fonseca. III. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 91

FERNANDO HENRIQUE LEMOS

**FLUXOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS E DE NUTRIENTES NO RIO DUAS
BOCAS, CARIACIA – ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do professor Dr. Eberval Marchioro.

Aprovado em ____ de _____ de ____.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Departamento de Engenharia Ambiental
(UFES)

Prof. Dr. Pablo Azevedo Rocha
Departamento de Geografia/UFES

Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso
Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia (coorientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Eberval Marchioro (Orientador)
Programa de Pós-Graduação em
Geografia
Universidade Federal do Espírito Santo

Dedico este trabalho a minha avó Maria
(*in memoriam*), grande incentivadora.
Luz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos momentos aos quais tive que buscar força e sabedoria.

Aos meus pais, Mauro e Cristina, que apesar de todas as dificuldades que a vida lhes impôs sempre fizeram o possível para que eu chegasse até aqui. A minha querida irmã Larissa, pelo apoio incondicional e ao meu irmão, Kaius.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eberval Marchioro. Obrigado por acreditar em mim e fazer parte da minha caminhada desde o ensino médio.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso por me oportunizar novos caminhos na vida acadêmica.

A minha amiga Julia Effgen. Obrigado por fazer parte da minha caminhada e pela paciência, contribuições e conselhos. Agradeço por me permitir conviver com a tua família.

Ao amigo Alanderson Gomes por contribuir com a minha pesquisa inúmeras vezes. Obrigado pela disponibilização do seu tempo nas orientações e reflexões.

Aos colegas do Lamosa, Júlhia, Wallace, Juan, Filipe e Ialy pelo apoio nas idas a campo.

A minha amiga Felicidade pelas idas a campo, ajuda com análises em laboratório e momentos de descontração.

Ao Dr. e amigo Fábio Garcia pelas diversas contribuições, especialmente em estatística.

Ao meu amigo Rafael Justino pela ajuda com os mapas.

Aos colegas do departamento de oceanografia, Clarissa, Nínive, Pedro, Lara, Carlos e Cybelle pela contribuição nas análises em laboratório.

Aos colegas Wesley Correa, James dos Santos e Daniel Bulhões pelas orientações e conselhos para entrada no programa de pós-graduação.

Ao Programa de Pós-graduação em Geografia e as secretárias Izadora e Luciana. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho, muito obrigado

*“Você é livre para fazer suas escolhas,
mas é prisioneiro das consequências”*

Pablo Neruda

RESUMO

Córregos e rios são os principais caminhos de fluxos de matéria natural e antropogênica ao longo da bacia hidrográfica. Os diferentes usos e coberturas da terra, condições climáticas e características da bacia são fatores que controlam os fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo analisar os fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas, Cariacica – ES. Para isso, foram utilizados como parâmetros os sólidos em suspensão ou sedimentos, nitrogênio total, fósforo total, pH, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, temperatura da água e vazão fluvial. O monitoramento desses parâmetros ocorreu em 04 estações amostrais distribuídas ao longo do canal principal do rio Duas Bocas no período de agosto de 2016 a agosto de 2017. O monitoramento da precipitação pluvial foi realizado a partir de uma estação climática localizada à 740 m de altitude no interior da Reserva Biológica de Duas Bocas. Foi utilizado o teste estatístico *Kruskal Wallis*, que possibilitou analisar a ocorrência de diferenças entre as amostragens e estações amostrais. Para correlações entre os parâmetros foi utilizado o coeficiente de *Spearman*. Os acumulados pluviométricos mensais registrados ficaram abaixo da normal de precipitação, colaborando para a interrupção da vazão nas estações DB03 e DB04 nos meses de menor pluviosidade. As maiores vazões foram registradas na estação DB01. As concentrações de sólidos em suspensão, nitrogênio total e fósforo total foram menores na estação DB01, área de Mata Atlântica, e aumentaram gradativamente a cada estação a jusante. Os parâmetros físicos e químicos evidenciaram efeitos de atividades antrópicas a partir da estação DB02. A diminuição do oxigênio dissolvido aponta o aporte de matéria orgânica, algo corroborado pela correlação positiva entre os sólidos totais e condutividade elétrica, salientando o aumento de íons dissolvidos nas águas provenientes de lançamentos de efluentes.

Palavras – chaves: Bacia Hidrográfica – Erosão - Sedimento - Nutrientes.

ABSTRACT

Streams and rivers are the main channel of natural and anthropogenic matter flows along the catchment. The different uses and coverages of land, climatic conditions and characteristics of the catchment are factors that control the hydrosedimentological and nutrient flows. Therefore, this work aimed to evaluate the hydrosedimentological and nutrient fluxes along the longitudinal profile of the Duas Bocas river, Cariacica - ES. To that end, suspended solids or sediments, total nitrogen, total phosphorus, pH, total dissolved solids, dissolved oxygen, electrical conductivity, turbidity, water temperature and water discharge were used as parameters. The monitoring of these parameters occurred in 04 sampling stations distributed along the main channel of the Duas Bocas river from August 2016 to August 2017. Rainfall monitoring was carried out from a climatic station located at 740 m altitude inside the Biological Reserve of Duas Bocas. The Kruskal Wallis statistical test was used to analyze the occurrence of differences between samples and sampling stations. For correlations between parameters the Spearman coefficient was used. The monthly rainfall recorded was below the normal precipitation, collaborating to interrupt the flow in stations DB03 and DB04 in the months of lower rainfall. The largest flow rates were recorded at station DB01. The concentrations of suspended solids, total nitrogen and total phosphorus were lower in DB01, Atlantic Forest area, and increased gradually to each downstream season. The decrease of the dissolved oxygen indicates the contribution of organic matter, something corroborated by the positive correlation between the total solids and electrical conductivity, emphasizing the increase of dissolved ions in the water coming from effluent releases.

Keywords: Catchments – Erosion – Sediment – Nutrients.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processos de transporte de carga mineral particulada (Mod. BIGARRELA; SUGUIO, 1979).....	26
Figura 2 - Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos. ..	28
Figura 3 - Localização da bacia hidrográfica do rio Duas bocas (ES).....	31
Figura 4 – Distribuição da precipitação média anual (1983-2013) na bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas.....	32
Figura 5 – Normal de precipitação da média mensal da precipitação no período de 1983 a 2013 fase da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.	33
Figura 6 – Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Duas Bocas, em 2012.	37
Figura 7 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa na bacia hidrográfica do rio Duas bocas (ES).	39
Figura 8 – Localização das estações amostrais na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas – ES.....	41
Figura 9 – Perspectivas das estações amostrais: DB01) riacho baixo montano no Córrego Pau Amarelo; DB02) estação a jusante da ETA de Duas Bocas, no rio Duas Bocas; DB03) Rio Duas Bocas, terço inferior; DB04) estação localizada próximo ao exutório (1,5 km da confluência com o Rio Stª Maria).....	42
Figura 10 – Medição da vazão na terceira estação amostral do rio Duas Bocas (ES).	44
Figura 11 - Modelo de medição de vazão pelo método da equação da secção meio no rio Duas Bocas (ES).....	44
Figura 12 - Normal de precipitação média mensal e o acumulado de precipitação média	50

Figura 13 - Variabilidade da vazão nas estações amostrais	51
Figura 14 - Variabilidade de vazão fluvial x precipitação nas estações amostrais.	54
Figura 15 - Estação DB04 na campanha do dia 26/01/2017.....	55
Figura 16 - Concentração dos sólidos em suspensão nas estações amostrais.	56
Figura 17 - Estação de tratamento de água.	61
Figura 18 - Despejo da estação de tratamento de água no rio Duas Bocas.	61
Figura 19 - Perfil topográfico da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas com a localização das estações amostrais	63
Figura 20 - Concentração de Pt nas estações amostrais	65
Figura 21 - Concentração de Nt nas estações amostrais.....	70
Figura 22 - Concentração de Nt no período de estudo.	70
Figura 23 - temperatura d'água nas estações amostrais.....	75
Figura 24 - Temperatura d'água durante as amostragens.....	76
Figura 25 - pH nas estações amostrais.....	77
Figura 26 - Oxigênio dissolvido nas estações amostrais.....	78
Figura 27 - Condutividade elétrica nas estações amostrais.	79
Figura 28 - Sólidos totais dissolvidos nas estações amostrais.....	80
Figura 29 - Turbidez nas estações amostrais.....	81

Lista de tabela

Tabela 1 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra (km ²) de 1970 a 2012 na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.	38
Tabela 2 – Coordenadas das estações amostrais no rio Duas Bocas.	40
Tabela 3 – Uso e cobertura da terra considerando as áreas de drenagem das estações amostrais.	40
Tabela 4 - Resumo dos princípios analíticos da sonda multiparâmetros	45
Tabela 5 – Correlação chuva - vazão.	52
Tabela 6 – Descargas líquidas e sólidas mensais nas estações amostrais da bacia do rio Duas Bocas.	59
Tabela 7 - Produção de sólidos em suspensão ao longo do rio Duas bocas.	62
Tabela 8 - Carga de Pt por dia nas estações amostrais.	67
Tabela 9 - Produção anual de PT por estação amostral.	68
Tabela 10 - Cargas de N total por dia nas estações amostrais.	72
Tabela 11 - Produção de N total por estação amostral anual.	73
Tabela 12 - Correlação entre as variáveis físico-químicas.	74

Lista de siglas

ASAS – Sistemas atmosféricos Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

BHRDB – Bacia hidrográfica do rio Duas Bocas

CESAN – Companhia Espírito Santense Estadual de Saneamento

ETA – Estação de tratamento de água

N – Nitrogênio

NO₂- - Nitrito

NO₃- - Nitrato

Nt- Nitrogênio total

P – Fósforo

pH – Potencial hidrogeniônico

Pt Fósforo total

ReBio – Reserva biológica de Duas Bocas

RMGV - Região Metropolitana da Grande Vitória

SS – Sólidos em suspensão

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

Lista de símbolos

Re – Número de *Reynolds*

γ – Densidade da água

v - Velocidade da corrente

μ – Viscosidade da água

R_h - Geometria do canal

F – Número de *Froud*

g - Força da gravidade multiplicada

d - Profundidade

C_{ss} – Concentração de sólidos em suspensão

V - volume filtrado

Q_{ss} - carga ou fluxo

Q - descarga

P_{cs} - carga total em suspensão

A – área

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS.....	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCEITUAIS.....	21
3.1	A BACIA HIDROGRÁFICA E OS EFEITOS DAS ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS	21
3.1.1	Aporte de fósforo em sistemas fluviais	22
3.1.2	Aporte de nitrogênio em sistemas fluviais	23
3.2	EROSÃO E TRANSPORTE DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS 25	
4	ÁREA DE ESTUDO	30
4.1	PLUVIOSIDADE.....	30
4.2	GEOLOGIA	33
4.3	GEOMORFOLOGIA.....	34
4.4	PEDOLOGIA.....	35
4.5	USO E COBERTURA DA TERRA	36
5	MATERIAIS E MÉTODOS	39
5.1	PLANO DE AMOSTRAGEM	40
5.2	AMOSTRAGEM PLUVIOMÉTRICA	43
5.3	MEDIÇÃO DE VAZÃO	43
5.4	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	45
5.5	COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA	45
5.6	ANÁLISE HIDROQUÍMICA	45
5.6.1	Fósforo total.....	46
5.6.2	Nitrogênio total	46
5.7	CÁLCULO DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO	46
5.8	DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE DRENAGEM	47
5.9	CÁLCULO DOS FLUXOS	47
5.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
5.10.1	Teste Kruskal Wallis.....	48
5.10.2	Coeficiente de Correlação de Spearman	49

6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
6.1	MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO.....	50
6.2	VARIABILIDADE DA VAZÃO	51
6.3	DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NO RIO DUAS BOCAS ..	56
6.4	DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DO FÓSFORO	64
6.5	DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DO NITROGÊNIO	69
6.6	VARIABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	74
6.6.1	Temperatura da água	74
6.6.2	Potencial hidrogeniônico (pH).....	76
6.6.3	Oxigênio dissolvido (OD).....	77
6.6.4	Condutividade elétrica	78
6.6.5	Sólidos totais dissolvidos - STD	79
6.6.6	Turbidez	80
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

Córregos e rios são os principais caminhos de fluxos de matéria natural (como folhas e sedimentos) e antropogênica (como efluentes) ao longo da bacia hidrográfica e do continente para a costa oceânica (BIDONE *et al.*, 1999). Neste sentido, os fluxos hidrológicos continentais representam a principal via de transporte de água, sedimentos e nutrientes de sistemas fluviais para lagos e áreas costeiras (MILLIMAN; FARNSWORTH, 2011).

O fluxo ou carga é definido como a quantidade de uma substância específica transportada por uma seção do rio em um determinado tempo (WALLING; WEBB, 1985). O estabelecimento dos gradientes de concentração e cargas de material transportado por toda extensão longitudinal de um rio, são etapas básicas no controle de qualidade d'água e gestão de sistemas fluviais (BIDONE *et al.*, 1999). Dessa forma, a quantificação do fluxo de material ao longo da bacia hidrográfica é fundamental para o entendimento dos ciclos biogeoquímicos e balanços globais (RODRIGUES *et al.*, 2017).

Em uma bacia hidrográfica os fluxos hidrossedimentológicos e hidroggeoquímicos são controlados pela interação de processos naturais (intensidade, frequência e quantidade da chuva e vazão do rio) e antropogênicos (urbanização, efluentes industriais, agricultura e esgoto) sobre uma série de fatores temporais e espaciais (RODRIGUES *et al.*, 2017). As alterações nas características do curso da água e ciclagem de nutrientes seguem as mudanças de uso da terra, influenciam a produção primária e a entrada de material orgânico que controla as dinâmicas tróficas do corpo hídrico (NEILL *et al.*, 2001).

O uso e a cobertura da terra da bacia hidrográfica estão fortemente correlacionados com os parâmetros físicos e químicos da água, especialmente a concentração de nutrientes e material particulado em suspensão (DODDS; OAKES, 2007). As mudanças induzidas pelo homem no uso da terra, como o desmatamento florestal, podem alterar substancialmente o ambiente químico de pequenos córregos, qualitativamente e quantitativamente, a forma química e a variabilidade temporal dos materiais lixiviados de ecossistemas terrestres adjacentes. (GUZHAA *et al.*, 2017; NEILL *et al.*, 2001; MALMQVIST; RUNDLE, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2017).

A alteração da qualidade de água (FONSECA *et al.*, 2013), e a eutrofização dos corpos d'água à jusante das fontes naturais e antropogênicas (BARROSO *et al.*, 2016; DODDS; SMITH, 2016), estão associadas as atividades humanas, especialmente ao uso e cobertura da terra (AGUILERA *et al.*, 2012; JOCBS *et al.*, 2017; LIWN; HASHIMOTO, 2017; RODRÍGUEZ-BLANCO *et al.*, 2012; VALLE Jr. *et al.*, 2014; VOGT *et al.*, 2014. Neste sentido, questões referentes ao incremento e a exportação de nutrientes (i.e., N e P) de fontes naturais e antropogênicas, através da rede fluvial em diferentes contextos, têm sido exploradas.

No Brasil, diferentes trabalhos abordam o efeito do uso da terra com fluxos de nutrientes, sedimentos e ainda parâmetros físico-químicos relacionados à concentração em períodos de maior e menor pluviosidade e fontes de poluição (FONSECA *et al.*, 2013; GÜCKER *et al.*, 2016; MARTENELLI *et al.*, 2010; NEILL *et al.*, 2001), em especial na região sudeste brasileira (BIDONE *et al.*, 1999; MARTINELLI, 2010; RODRIGUES *et al.*, 2017).

O conhecimento sobre as diferentes dinâmicas que ocorrem em sistemas fluviais, tal como os processos hidrossedimentológicos, fornece informações que fundamentam a tomada de decisões e subsidiam um planejamento de manejo de uso racional dos recursos naturais (VESTENA, 2009).

Neste contexto, estudos que permitam compreender a dinâmica dos fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes, em áreas com diferentes usos e cobertura da terra, tornaram-se relevantes, pois corroboram para o conhecimento de sua dinâmica ao longo de um perfil longitudinal e sua conectividade com as áreas adjacente. Em função disto, e considerando a bacia hidrográfica como um sistema aberto não isolado, este estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.

A bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, cujos limites possuem áreas de floresta natural, represamento de água, cultivos agrícolas, e criação de gado, representa um importante recorte do espaço geografia para estudos de dinâmicas hidrossedimentológicas e de nutrientes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas, Cariacica – ES.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a variação espacial e temporal no perfil longitudinal dos parâmetros físico-químicos, hidrossedimentológicos e nutrientes a partir de estações amostrais;
- Quantificar as concentrações e estimar a produção de sólidos em suspensão, nitrogênio total e fósforo total ao longo do perfil longitudinal do rio;
- Analisar o efeito da cobertura vegetal de Mata Atlântica sobre os parâmetros físico-químicos e de nutrientes na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCEITUAIS

3.1 A BACIA HIDROGRÁFICA E OS EFEITOS DAS ATIVIDADES ANTROPOGÊNICAS

Uma bacia hidrográfica, numa visão sistêmica, constitui um sistema não-isolado aberto de drenagem continental de águas superficiais. Assim, a bacia hidrográfica mantém relações com os demais sistemas do universo na qual está inserida, onde se sucedem constantes trocas de energia e matéria, e contínuas perdas e ganhos de materiais (CHORLEY, 1971).

Nesse sentido, a bacia é formada basicamente de uma união de superfícies, vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que afluem até resultar em um leito único no exutório, tendo seus limites superficiais definidos pelos interflúvios ou divisores de água (COELHO NETTO, 1995; TUCCI, 2004).

Os rios ou sistemas lóticos são os principais caminhos de fontes de materiais continentais de origem natural e antropogênica e os transferem pelas bacias hidrográficas até o oceano. Esses sistemas funcionam como um filtro de material ao longo desse *continuum*, a depender de processos hidrobiogeoquímicos, hidrológicos e padrões de uso da terra (BIDONE *et al.*, 1999).

As atividades em uma bacia hidrográfica têm potencial para causar mudanças ambientais, bem como, um poluente que aporta ao sistema fluvial é susceptível a processos de retenção, assimilação e transporte a uma grande distância a jusante (MALMQVIST; RUNDLE, 2002).

A água conecta e reflete os usos das atividades em uma bacia hidrográfica, apontando os efeitos cumulativos dos usos da terra (WEAR *et al.*, 1998). A composição química da água é variável em qualquer ponto do ciclo hidrológico e as impurezas são acumuladas no momento da condensação junto às gotículas de gases dissolvidos formando as nuvens. A água infiltra, percola ou escoar ao longo da superfície, incorporando material produzido pela erosão, lixiviação, intemperismo de rochas, pedogênese de solos e áreas de florestas (BIDONE *et al.*, 1999).

A água que flui nos rios é advinda das áreas que compõem a bacia, nesse sentido, a composição geológica, pedológica e da vegetação contribuem para a variedade

natural de substâncias químicas do corpo hídrico. As mudanças hidrológicas nos sistemas fluviais também resultam de alterações do uso e da cobertura da terra (MALMQVIST; RUNDLE, 2002).

A agricultura é um dos agentes responsáveis pela perda direta e indireta da qualidade da água. Isso pode-se dar por meio da poluição e da contaminação difusa dos corpos hídricos por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas, ou ainda por agentes biológicos (TELLES *et al.*, 2006).

Os riscos de contaminação junto aos corpos d'água agravam-se em áreas agrícolas onde emprega-se grande quantidade de agroquímicos, visto que a água utilizada na irrigação escoar superficialmente, carreando substâncias dissolvidas ou adsorvidas em partículas do solo. Os poluentes resultantes do escoamento superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e despejos animais (MERTEN; MINELLA, 2002). Estes nutrientes associados ao corpo d'água pelo carreamento de fertilizantes via água da chuva ou irrigação tem potencial para originar a eutrofização dos ambientes aquáticos (TELLES *et al.*, 2006).

Além disso, a necessidade de espaço para agropecuária leva ao desmatamento e, com isso, o solo fica exposto à erosão, favorecendo a perda de solo e de nutrientes nas camadas superficiais devido à chuva. Tal processo ocasiona o empobrecimento do solo e o escoamento superficial conduz o material até as áreas baixas, geralmente, convergindo para rios e lagos. Esse processo contribui para o desequilíbrio dos nutrientes do solo e expondo o ambiente terrestre e aquático a poluição química (CARVALHO, 2000).

3.1.1 Aporte de fósforo em sistemas fluviais

O fósforo (P) é considerado o principal nutriente limitante para o crescimento da vegetação na maioria dos sistemas aquáticos de água doce (RODRÍGUEZ-BLANCO *et al.*, 2013), sendo encontrado em baixa concentração em ecossistemas naturais, em contraste com áreas agrícolas onde tem sido largamente utilizado como fertilizante, nas quais o aumento de suas cargas ocasionam efeitos a jusante de corpos hídricos relacionados a eutrofização (ELLEDGE; THORNTON, 2017; MAINSTONE, 2002).

Nas últimas décadas, o aumento de entradas de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, em terras agrícolas transportados pelo escoamento superficial contribui

como fontes de poluição difusa para rios e lagos, ameaçando a qualidade da água doce (LEONE *et al.*, 2008). Segundo Maistone e Parr (2002), é importante notar que o controle de fósforo nos rios não é apenas relevante para a ecologia do próprio rio, mas também para os corpos d'água estáticos ou as zonas húmidas alimentadas pelo rio.

O fósforo chega aos rios a partir de diferentes fontes, variando em sua disponibilidade de fonte para fonte. As cargas de fontes pontuais são, geralmente, ligadas ao lançamento de esgoto, que ocorre pela forte afinidade do fósforo com partículas. A maior parte da carga anual difusa é geralmente entregue em um escoamento superficial ligado às partículas do solo (MAINSTONE; PARR 2002).

A preocupação com o aumento na concentração deste nutriente em sistemas fluviais cresce em diversos países, impulsionando estudos que abordam o incremento do aporte relacionados ao uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas (JARVIE *et al.*, 2010; LEONE *et al.*, 2008; LWIN *et al.*, 2017; MAINSTONE; PARR, 2002; RODRÍGUEZ-BLANCO *et al.* 2013).

Diante disso, um estudo conduzido por LWIN *et al.* (2017), demonstra as tendências futuras (2010 a 2100) de fluxos globais de P de águas residuais de agricultura e domésticas, baseado em cenários de numerosos parâmetros que incluem desenvolvimento econômico, população, demanda de gado, áreas de colheita, taxa de remoção de fósforo em tratamentos de esgoto, etc. em 26 países ao redor do mundo, além de 27 membros da União Europeia.

Os resultados revelam que o fluxo de P da agricultura ocorreu em uma taxa anual entre 5,7 Tg. ano⁻¹ e 6,1 Tg. ano⁻¹ em 2010, com projeção de dobrar para 2100. Fluxos anuais de P de águas residuais domésticas estão entre 1,3 a 2,3 Tg durante o período estudado. Para 2100, o Brasil aparece como terceiro país no ranking mundial em fluxo de P de águas residuais agrícolas e urbanas, antecedido pela Índia e China. Estes países têm as maiores populações mundiais e intensas atividades agrícolas (LIWIN *et al.* 2017).

3.1.2 Aporte de nitrogênio em sistemas fluviais

No ambiente aquático, o nitrogênio (N) pode existir em diferentes formas: gás nitrogênio dissolvido; amônia; amônio; nitrito; nitrato; nitrogênio orgânico; e em fases dissolvidas ou particuladas (GRUBER; GALLOWAY, 2008). As formas mais importantes de nitrogênio em termos de seus impactos imediatos na qualidade da água são os íons de amônio, nitritos e nitratos prontamente disponíveis, pois devem ser convertidos em uma forma mais utilizável pelas plantas (DODS, 2006).

Os organismos aquáticos, produtores primários, incorporam nitrogênio inorgânico dissolvido e particulado em matéria proteinácea. Os detritos orgânicos se decompõem e o nitrogênio orgânico é remineralizado como íons de amônio e, posteriormente, é oxidado em nitrito e nitrato (VITOUSEK *et al.*, 1997).

A concentração de nitrogênio e suas formas dominantes em diferentes tipos de poluição variam com o tipo de atividade antropogênica desenvolvida na bacia hidrográfica (SHUQUAN *et al.*, 2008). O aumento do transporte de N presente na terra para água é uma consequência do aumento de insumos utilizados (por exemplo, fertilizantes), embora outros fatores, como a conversão de pastagens em longo prazo para terras aráveis, mudanças nas práticas de lavoura, a drenagem de solos e a importação de alimentos para animais também sejam importantes (WORRALL *et al.*, 2012).

Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2016), o aumento da demanda mundial por fertilizantes é estimada em 1,6% ao ano, de 2015 a 2019. A demanda por nitrogênio, fosfato e potássio deverá crescer anualmente em 1,2, 2,0 e 2,5%, respectivamente, durante o período. Nos próximos cinco anos, a capacidade global de produção de fertilizantes, intermediários e matérias-primas aumentará ainda mais.

O desenvolvimento econômico também tem demonstrado impacto no ciclo do N devido às práticas agrícolas e à urbanização, como ocorre em países da América Latina e do Caribe que, em 2002, já eram responsáveis pelo consumo de, aproximadamente, 5 milhões de toneladas de N presente em fertilizante, equivalente a 6% do consumo global (MARTINELLI *et al.*, 2006).

No Brasil, Silva *et al.* (2010) ao analisar as concentrações de espécies nitrogenadas em córregos da região sudeste do Brasil, encontrou um aumento das cargas e das concentrações em rios rurais e florestados, durante a estação chuvosa. As

concentrações de nitrito (NO^{-2}) e nitrato (NO^{-3}) em amostras de água para rios naturais, rurais e urbanos diferiram significativamente, com valores mais altos em áreas urbanas seguidas de corpos hídricos rurais e naturais, respectivamente. As áreas rurais apresentam variabilidade sazonal marcante em relação às concentrações de compostos de nitrogênio.

Esses resultados indicam que as alterações na cobertura da terra para fins agropecuários e urbanos estão alterando a química da água fluvial com o aumento das espécies nitrogenadas, com potenciais efeitos na função do ecossistema (SILVA, 2010).

3.2 EROÇÃO E TRANSPORTE DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O sedimento tem origem em movimentos de massa, erosões de rios, do solo e intervenções antropogênicas na paisagem. Segundo Morgan (2005), a erosão dos solos constitui uma das principais fontes de sólidos em suspensão nos rios e ocorre quando partículas individuais do solo ou agregados são desagregadas “*in situ*”, como resultado de vários processos, tais como o impacto de chuva, água corrente, atividade biológica, intemperismo geoquímico e físico, vento e outros processos que perturbam o solo (CHRISTOFOLETTI, 1981; MORGAN, 2005; VERCRUYSSSE *et al.*, 2017)

O material erodido na bacia pode ser transportado (por exemplo, via vento e água) diretamente para o canal mais próximo ou depositado antes de chegar ao canal, onde pode ser remobilizado por outros processos em um estágio posterior (ou seja, quando o agente transportador é mais eficaz em transportar o sedimento) (VERCRUYSSSE *et al.*, 2017).

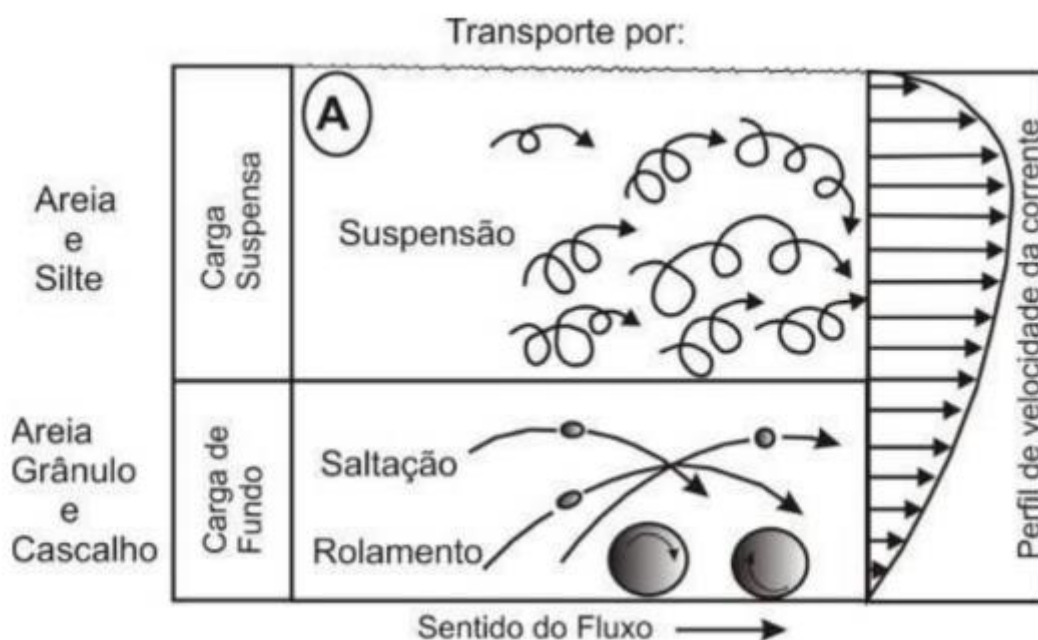
Os materiais erodidos das vertentes chegam aos corpos hídricos, onde são transportados em suspensão, saltação ou rolamento, predominantemente pela velocidade da corrente. A predominância dos sólidos em suspensão transportados nos rios são de argilo-minerais e terão um processo de transporte diversificado de acordo com as condições locais e do deslocamento (SUGUIO; BIGARELLA, 1990; CARVALHO, 2008).

A carga detrítica nos cursos hídricos é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas, das quais as partículas de granulometria reduzida (silte e argila)

se conservam em suspensão, constituindo a carga de sólidos em suspensão (CARVALHO, 2008; CHRISTOFOLETTI, 1981).

A carga sólida em suspensão corresponde aos sedimentos suportados pelas componentes verticais das velocidades do escoamento, enquanto estão em transporte pelas componentes horizontais de velocidades, sendo pequenas o bastante para permanecerem em suspensão, em movimentos ascendentes e descendentes na corrente. (CHRISTOFOLLETTI, 1979; NAKAGAWA *et al.*, 1990) (Figura 1). Os sólidos em suspensão são o tipo dominante de sedimento gerado nas bacias hidrográficas e, representam cerca de 70% da distribuição anual de sedimentos de rios para os oceanos (MORGAN, 2005).

Figura 1 - Processos de transporte de carga mineral particulada (Mod. BIGARRELA; SUGUIO, 1979).



Quando a velocidade do fluxo ultrapassa um valor crítico, as lâminas de escoamento de água são rompidas e misturadas, desse modo, o fluxo torna-se caótico e heterogêneo (CHRISTOFOLETTI, 1981). O limite entre os fluxos laminar e turbulento é dado pelo número de *Reynolds* (Re), que relaciona a densidade de água (γ), velocidade da corrente (v) e viscosidade da água (μ) com a geometria do canal (R_h), conforme a equação 01 (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

$$Re = \frac{\gamma V R_h}{\mu} \quad (01)$$

Considerando que o grau de turbulência pode ser diretamente descrito pelo número de *Reynolds*, foram fixados os seguintes limites para os fluxos: menor que 500 - fluxo laminar; entre 500 e 2.000 - ocorre tanto o laminar como o turbulento; maior que 2.000 - fluxo turbulento (SUMMERFIELD, 2014).

Em geral o fluxo dos rios é turbulento, todavia, uma mudança brusca nas características pode gerar uma perturbação na superfície da água que se opõe ao fluxo (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). O número de *Froude* (F) relaciona a velocidade da corrente (v) com a perturbação gerada no fundo do canal, representada pela raiz quadrada da força da gravidade (g) multiplicada pela profundidade (d) (figura 02) (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

$$F = \frac{V}{\sqrt{(g d)}} \quad (02)$$

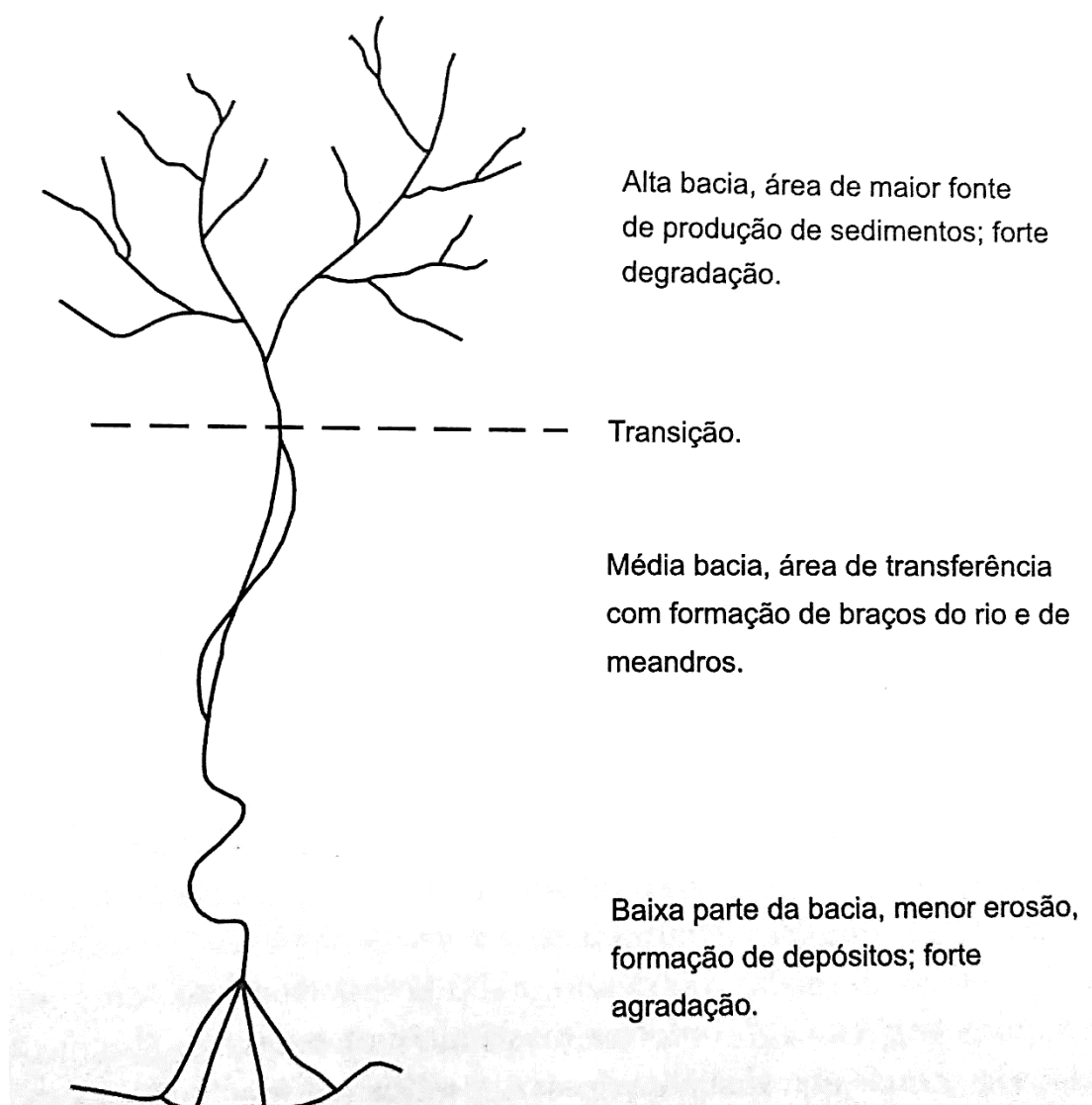
Quando o número de *Froude* é menor que 1, o rio está em regime de fluxo tranquilo, se F for maior que 1, o rio está em regime de fluxo rápido. A profundidade e a velocidade são elementos que regem o regime turbulento (SUMMERFIELD, 2014).

A combinação das características geológicas, topográficas, climáticas, cobertura do solo e fatores hidrológicos tais como a quantidade e distribuição das precipitações de uma bacia hidrográfica determina a distribuição espacial da erosão do solo e da transferência de sedimentos que regulam a concentração dos sólidos em suspensão em qualquer ponto específico do rio (CHRISTOFOLETTI, 1981). Nesse sentido, a carga de sedimentos de um rio é determinada principalmente pela disponibilidade de sedimentos da bacia e pela capacidade de transporte do agente erosivo (VERCRUYSSSE *et al.*, 2017).

O comportamento dos sedimentos também é muito variável desde as partes altas até as planícies, isso se deve as diferentes combinações das características da bacia e

fatores hidrológicos já citados. De maneira geral, na alta bacia há maior erosão e transporte de sedimentos, e vai diminuindo da alta para a média bacia à medida que as declividades descarecem e as chuvas se tornam menos intensas (CARVALHO, 2008) (Figura 2).

Figura 2 - Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos.



Fonte: CARVALHO, 2008.

Os diferentes usos e coberturas em uma bacia influenciam a vulnerabilidade do solo. Por exemplo, a falta de cobertura vegetal contínua expõe o solo a agentes erosivos, ou ainda, as terras aráveis que são propensas à erosão do solo (VERCRUYSSSE et al., 2017). Contrariamente a essas coberturas, as áreas florestadas e pastagens

geram menos sedimentos em razão da cobertura permanente, sistemas de enraizamento e maiores taxas de infiltração (VERCRUYSSSE *et al.*, 2017).

Além da origem natural o sedimento pode ter procedência em fontes antropogênicas. Por exemplo, o material particulado fino proveniente de obras de estradas, fontes de combustão de veículos, emissões industriais etc., estas partículas também são depositadas nas superfícies do solo (VERCRUYSSSE *et al.*, 2017).

A carga de sólidos em suspensão nos rios é sensível às mudanças do uso da terra na bacia de drenagem, assim sendo, as atividades agrícolas, as malhas de acesso, etc. contribuem para incremento da quantidade de sedimento que chegam e são transportado nos cursos fluviais (VESTENA, 2009).

A quantidade de sedimento que chega ao canal de um rio depende também da conectividade da bacia hidrográfica, de forma que as bacias podem ser vistas como hierarquias, onde as áreas estão conectadas ao sistema fluvial em vários graus. (FRYRIS, 2013). A conectividade descreve as interações em paisagens fluviais, e possuem 3 dimensões espaciais: longitudinal (cabeceira de drenagem - estuário), lateral (ambiente fluvial – zona riparia/planície de inundação) e, vertical (ambiente fluvial – água subterrânea) (PRINGLE, 2003).

Por fim, uma vez que o sedimento fino chega ao curso de água, será transportado a jusante como sólido em suspensão ou mesmo depositado localmente. Estes sólidos em suspensão representam uma importante fonte difusa de poluentes em águas superficiais, pois atuam na transferência de substâncias, incluindo nutrientes, metais pesados, pesticidas e outros contaminantes orgânicos (WALLING e COLLINS, 2007).

Além de atuarem como portadores de poluentes, os sólidos em suspensão vinculam-se a turbidez que quando elevada impede a penetração de luz e calor, reduzindo a atividade da fotossíntese e a população de peixes. Também, aumentam o custo de tratamento para os usos humanos (VESTANA, 2009).

4 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas (BHRDB) situa-se entre às coordenadas 20°12'01.28" S / 40°23'06.35" W (7764921 S 355302 W) e 20°17'24.90" / 40°32'07.88" W (7755681 S 339683 W) (Figura 3) e está localizada entre os municípios Santa Leopoldina (18,7 km²) e Cariacica (73,5 km²) no estado do Espírito Santo, Brasil. A bacia apresenta uma área de 92,2 km², sendo uma das sub-bacias do Rio Santa Maria da Vitória, o qual serve como manancial para o abastecimento da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).

4.1 PLUVIOSIDADE

No município de Cariacica, segundo a classificação de Köppen, predomina o clima tropical chuvoso, apresentando altas médias pluviométricas, principalmente no verão, acompanhado de temperaturas elevadas (PERRONE, 1996; OLIVEIRA FILHO, 2010).

Segundo BASTOS *et al* (2015), a partir da interpolação de estações climatológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas às chuvas médias anuais ocorrem com variação entre 1.657 mm na área de maior altitude e, 1.307mm nas de menor altitude.

A distribuição espacial da pluviosidade, observada na Figura 4, mostra uma maior concentração de chuvas (acima de 1.587mm) na cabeceira da bacia, onde se localiza a Reserva Biológica de Duas Bocas (ReBio) com altitudes de 750 m, diminuindo no terço médio a inferior da bacia.

O regime de precipitação na área da bacia apresenta dois períodos marcantes, sendo um de verão, no qual se concentra a maior pluviosidade e, outro de inverno, de menor pluviosidade, conforme observado na Figura 5 (BASTOS *et al.*, 2015). A variabilidade da precipitação na bacia mostra a uma concentração de chuvas mais elevadas nos meses de novembro, dezembro e janeiro com um total acumulado médio de 605,9 mm Já os meses de menores pluviosidades são de maio a agosto com um total acumulado 171,0 mm de médio.

Figura 3 - Localização da bacia hidrográfica do rio Duas bocas (ES).

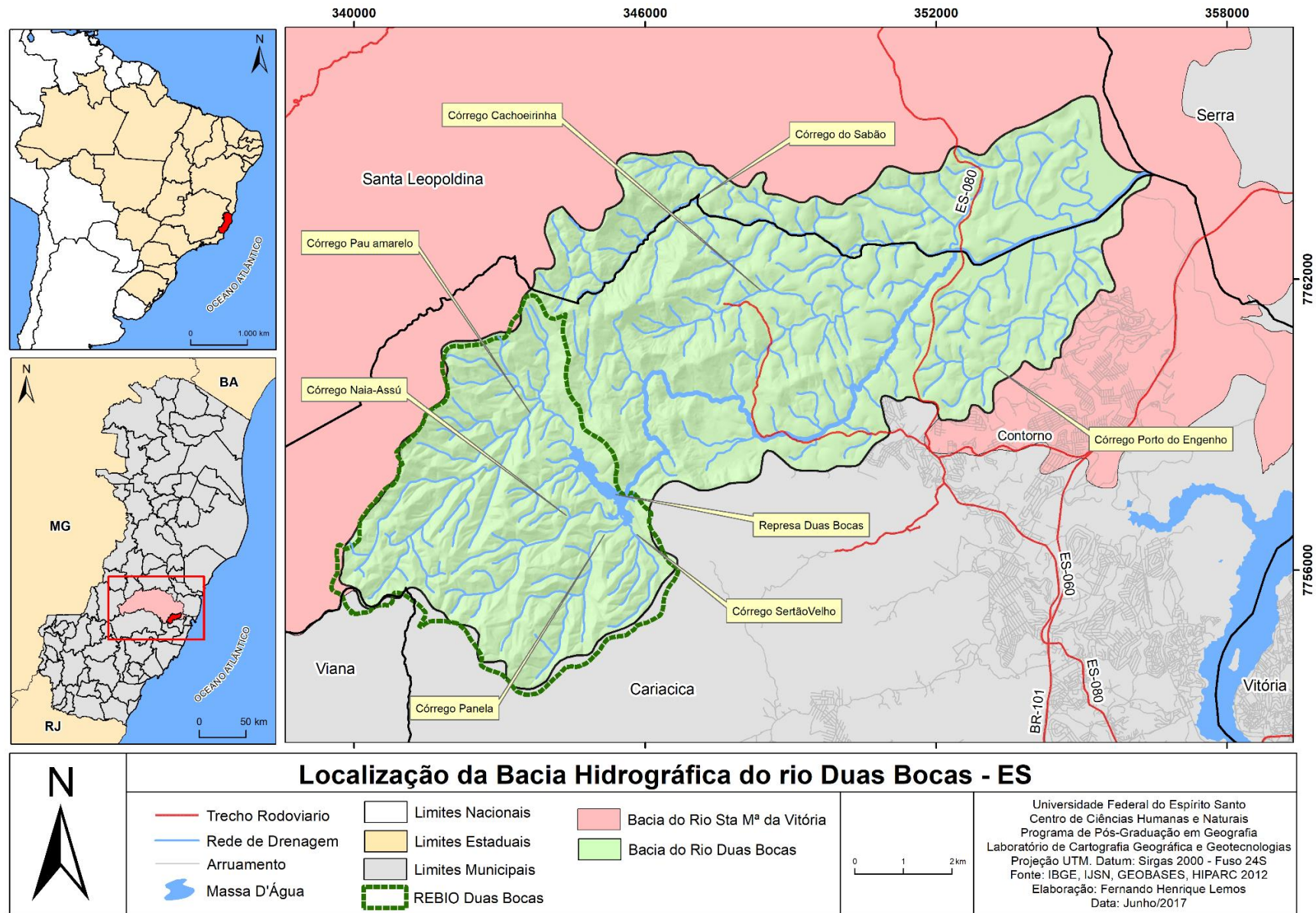
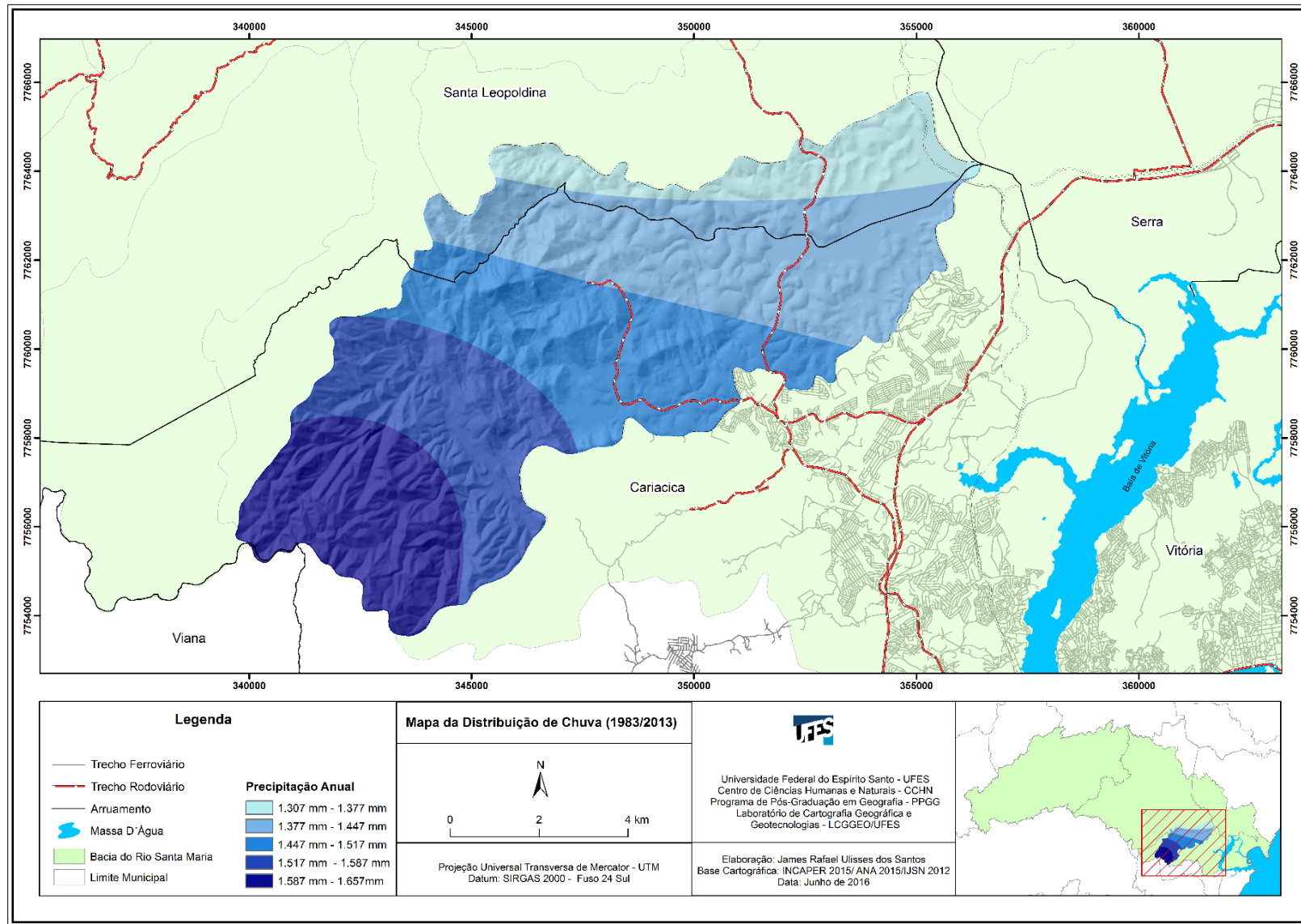
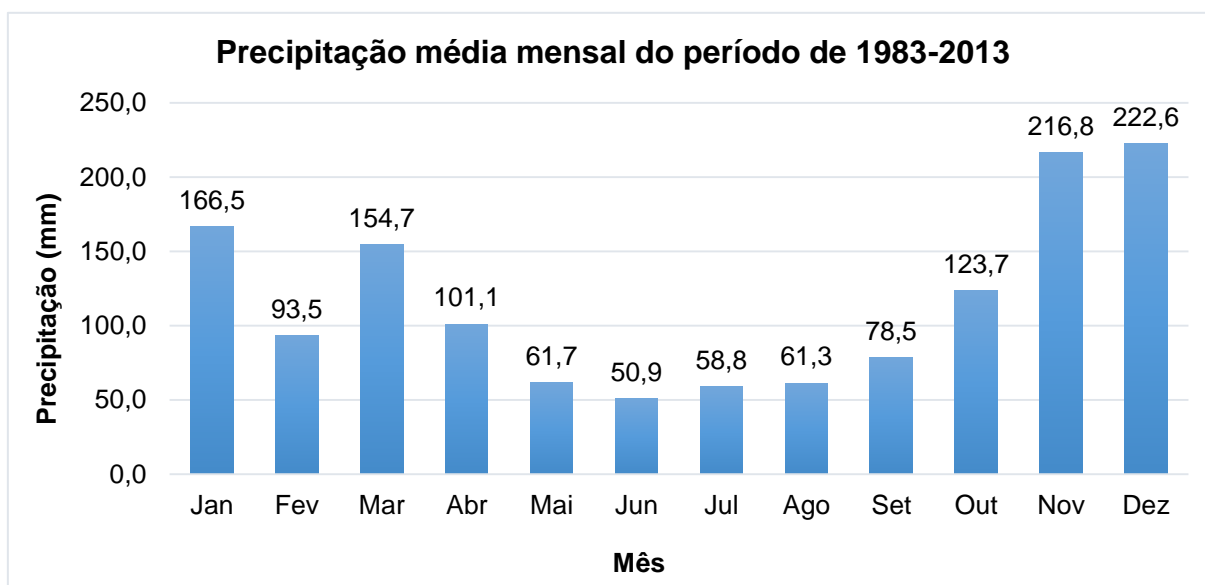


Figura 4 – Distribuição da precipitação média anual (1983-2013) na bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas.



Fonte: (SANTOS, 2016 adaptado de BASTOS *et al*, 2015).

Figura 5 – Normal de precipitação da média mensal da precipitação no período de 1983 a 2013 fase da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.



Fonte: Adaptado de Bastos et al., 2015.

A condição climática da área estudada é influenciada, de modo geral, pelos sistemas atmosféricos Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS, pela Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e por Massas de ar e Frentes Frias (CORREA *et al.*, 2015; MARCHIORO, 2012).

4.2 GEOLOGIA

Na BHRDB ocorrem as seguintes unidades geológicas: Complexo Nova Venécia; Maciço Granítico Vitória; Grupo Barreiras e Depósitos Flúvio-Lagunares (SANTOS, 2016).

As rochas do Complexo Nova Venécia, geralmente, afloram em lajedos e nos leitos dos principais cursos d'água. O complexo é constituído por Sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss bandado e cordierita granulito, com eventuais intercalações de rochas calcissilicáticas e ocorrências de áreas de predominância de rochas

metassedimentares em relação aos granitos, foliados a pouco foliados, que nelas estão encaixados (QUEIROGA *et al.*, 2012).

O Grupo Barreiras representa a cobertura sedimentar sub-horizontal, de idade cenozoica. É constituído por arenito conglomerático, argilito arenoso, arenito com lentes conglomeráticas e canga. Entretanto, predomina arenito conglomerático constituído essencialmente por grãos de quartzo angulosos, de baixa esfericidade e granulometria de areia fina a grânulo em meio a uma matriz argilo-siltosa (QUEIROGA *et al.*, 2012).

O Maciço Granítico Vitória é formado por uma associação litológica diversificada, onde predominam tipos de graníticos a granodioríticos, e nela foram caracterizados em fases pré e pós tectônico, em relação ao ciclo brasileiro (MACHADO FILHO *et al.*, 1983).

Os Depósitos Flúvio-Lagunares afloram nas áreas marginais dos cursos d'água que drenam a planície costeira e se interligam às lagoas, em contato com os depósitos eólico pleistocênico, paludial, lagunar, eólico holocênico e eólico recobrindo marinho praial (MACHADO FILHO *et al.*, 1983).

4.3 GEOMORFOLOGIA

As unidades geomorfológicas mapeadas na área estudada seguem o proposto pelo projeto do Mapeamento Geomorfológico realizado pelo Projeto RADAMBRASIL, no início da década de 1980, em escala de 1:250.000 e 1.000.000 nos volumes 32 e 34, respectivamente (SANTOS, 2016).

Assim, têm-se as seguintes unidades geomorfológicas presentes na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (BHRDB): Patamares Escalonados Sul do Capixaba; Colinas e Maciços Costeiros; Tabuleiros Costeiros; e Acumulação Fluvial.

Os Patamares escalonados do Sul Capixaba apresentam níveis de dissecação escalonados formando patamares, delimitados por frentes escarpadas adaptadas a falhas voltadas para noroeste e com caimento topográfico para sudeste, sugerindo blocos basculados em decorrência de impulsos epirogenéticos relacionados com a atuação dos ciclos geotectônicos (GALLO *et al.*, 1983).

As Colinas e Maciços Costeiros caracterizam-se por ser uma área de topografia deprimida, com reduzidos valores altimétricos em relação a outras unidades, refletindo estrutura fraturada e dobrada (GALLO *et al.*, 1983).

Os Tabuleiros Costeiros distribuem-se basicamente desde o sopé das elevações cristalinas representadas pelas Unidades Chãs Pré-Litorâneas, Depressão Marginal, Patamares Escalonados e Baixadas litorâneas, até as Planícies Quaternárias. Possuem sedimentos cenozoicos do Grupo Barreiras, constituídos de areias e argilas variegadas com eventuais linhas de pedra, disposto em camadas com espessura variada (GALLO *et al.*, 1983).

A acumulação fluvial corresponde à área plana resultante de acumulação fluvial submetida às inundações periódicas, com ocorrência nos vales com preenchimento aluvial. (GALLO *et al.*, 1983).

4.4 PEDOLOGIA

A caracterização pedológica da bacia está de acordo com a reclassificação do mapeamento da EMBRAPA, 1978, em escala de 1:400.000. Na BHRDB ocorrem as seguintes classes: Cambissolo Háplico; Gleissolo; Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho-Amarelo/Argissolos; e Neossolos Litólicos (SANTOS, 2016).

O CAMBISSOLO HÁPLICO ocupa a 44,41% da área da BHRDB. É um solo constituído por material mineral, pedregoso, cascalhento e mesmo rochoso (EMBRAPA, 2013). A drenagem varia de acentuada a imperfeita e apresenta grande variação no tocante à profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos de textura argilosa média. O nível de erodibilidade é forte (ROSS, 1994).

Os GLEISSOLOS caracterizam 5,68% da área da bacia, sendo solos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento, de má drenagem. São formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, sujeitos a constante ou periódico excesso de d'água. Apresentam o nível de erodibilidade baixa e textura argilosa. (ROSS, 1994).

Os LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO representam 31,82% da bacia e são solos profundos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural, com nível de erodibilidade muito baixa e de textura argilosa (ROSS, 1994). O LATOSSOLO VERMELHO-

AMARELO associado a ARGISSOLOS apresenta as características de ambas as classes (EMBRAPA, 2013). Tem nível de erodibilidade média e textura argilosa e muito argilosa (ROSS, 1994).

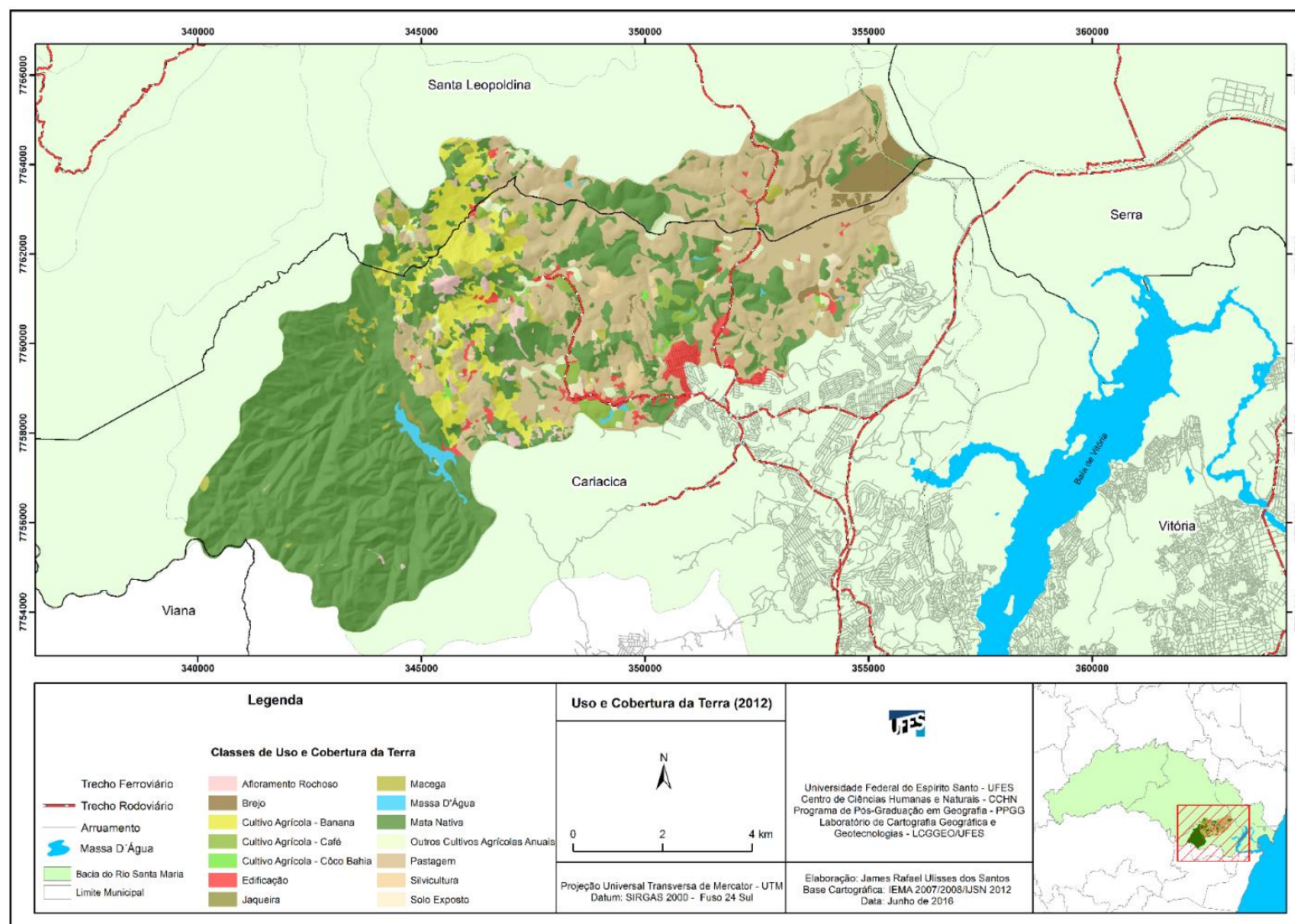
Os NEOSSOLOS LITÓLICOS equivalem a 2,66% da área bacia, sendo constituídos por material ou material orgânico pouco espesso (EMBRAPA, 2013). Não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. Têm nível de erodibilidade muito forte e textura argilosa média (ROSS, 1994).

4.5 USO E COBERTURA DA TERRA

A caracterização do uso e cobertura da terra da BHRDB baseia-se no trabalho de Santos (2016), que a partir de fotografias e imagens aéreas verificou as mudanças ocorridas nos anos de 1970, 2008 e 2012 (Figura 6).

Durante o período estudado por Santos (2016) verificou-se o predomínio na bacia de Duas Bocas da classe de Mata Nativa. Em 1970, esta classe ocupava uma área de 31,4 km², seguida pela classe macega, que ocupava uma área de 22,2 km², pela pastagem, abrangendo 21,2 km². As *edificações* tiveram uma extensão 1,0 km² e a *massa d'água* uma área de 0,6 km² compreendendo, principalmente, a represa e pequenos açudes fora da unidade de conservação.

Figura 6 – Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Duas Bocas, em 2012.



Fonte: SANTOS (2016).

Em 2012 a classe de *mata nativa* correspondia a uma extensão de 44,5 km², equivale a um aumento de 14,1% em comparação ao ano de 1970, o aumento foi de 14,1%. O aumento no processo de regeneração vincula-se a redefinição da Reserva Florestal Duas Bocas, em janeiro de 1965, para Reserva Biológica em janeiro de 1991 (SANTOS, 2016).

Ainda no ano de 2012, a classe *pastagem*, com 29,1 km², isto é, 31,5% da área total destina-se a criação de gado de corte e/ou leiteiro, distribuindo-se ao longo da bacia a jusante da reserva até o exutório. Comparado ao ano de 1970 o aumento foi de 8,52% (Tabela 1).

A classe *macega* apresentou mudança significativa. Em 1970 a classe ocupava uma área de 22,24 km² (24,10% da área da bacia), enquanto em 2012 passou a ocupar apenas 2,02 km² (2,19% da área da bacia), o que representa uma significativa redução de mais de 90%. A diminuição pode ser atribuída ao aumento da Mata Nativa e Pastagem (SANTOS, 2016).

Tabela 1 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra (km²) de 1970 a 2012 na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas.

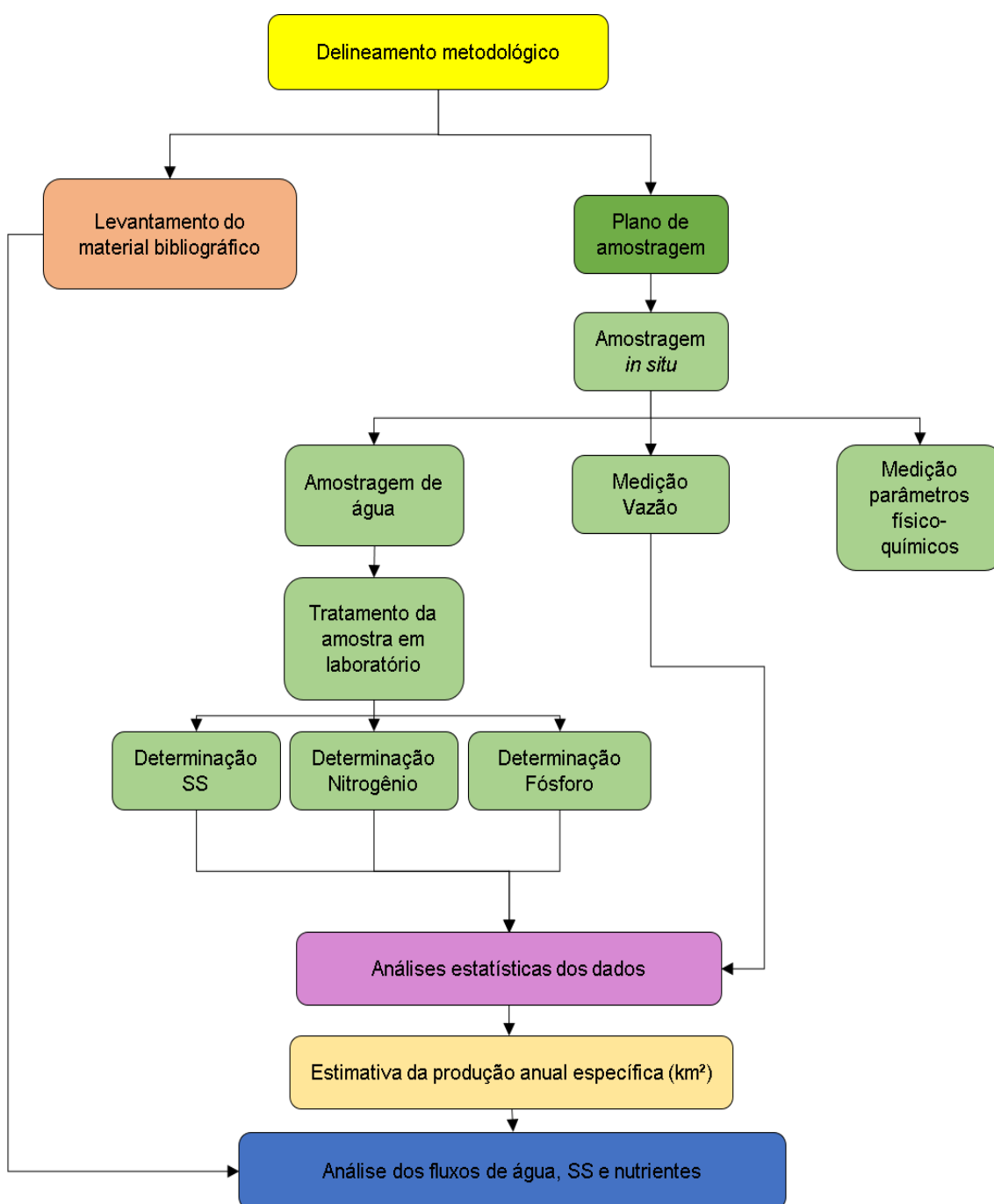
Classes de Uso e cobertura da terra	1970		2012	
	Área (km ²)	(%)	Área (km ²)	(%)
Afloramento Rochoso	0,57	0,62	1,16	1,26
Brejo	3,80	4,12	2,11	2,29
Cultivo Agrícola	8,31	9,01	7,62	8,26
Edificação	1,06	1,14	2,15	2,33
Jaqueira	-	-	0,14	0,15
Macega	22,24	24,10	2,02	2,19
Massa d'Água	0,67	0,73	0,67	0,73
Mata Nativa	31,48	34,11	44,54	48,27
Pastagem	21,22	22,99	29,09	31,51
Silvicultura	-	-	0,51	0,55
Solo Exposto	2,93	3,18	0,36	0,39
Total	92,27	100	92,27	100

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2016.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para organização da pesquisa foram realizadas etapas, com procedimentos metodológicos direcionados em uma sequência lógica, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7 – Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa na bacia hidrográfica do rio Duas bocas (ES).



5.1 PLANO DE AMOSTRAGEM

O monitoramento da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas foi realizado em 4 estações amostrais orientadas longitudinalmente de montante a jusante, onde se objetivou retratar os diferentes usos e coberturas da terra (Tabela 2, Tabela 3, Figura 8 e Figura 9) e compreendeu o período de agosto de 2016 a agosto de 2017, com um total de 16 campanhas. Foram realizadas ao menos uma campanha por mês (18 ago., 22 set., 18 out., 28 nov., 22 dez., 12 jan., 26 jan., 22 fev., 8 mar., 21 mar., 18 abr., 16 mai., 22 jun., 10 jul., 27 jul., 10 ago.).

Tabela 2 – Coordenadas das estações amostrais no rio Duas Bocas.

Estações amostrais	Coordenadas			
	Latitude	<i>Northing</i>	Longitude	<i>Easting</i>
DB01	20°15'30.6"S	344137.12	40°29'31.4"W	7759237.50
DB02	20°16'32.1"S	345714	40°28'14.0"W	7757763.000
DB03	20°14'42.5"S	351289.99	40°25'12.2"W	7761050.59
DB04	20°14'2"S	352264.74	40°24'36.2"W	7762215.81

Tabela 3 – Uso e cobertura da terra considerando as áreas de drenagem das estações amostrais.

Estações amostrais		DB01	DB02	DB03	DB04
Classes de Uso e cobertura da terra	Área (km²)	13.98	29.94	46.15	47.78
	Afloramento rochoso	0.0%	0.1%	1.2%	1.2%
	Cultivo agrícola	0.1%	1.7%	9.6%	9.6%
	Edificação	0.0%	0.2%	1.7%	2.0%
	Jaqueira	0.0%	0.4%	0.2%	0.2%
	Macega	0.9%	0.9%	0.2%	0.9%
	Massa d'água	0.0%	1.6%	0.8%	0.8%
	Mata Nativa	96.0%	89.7%	48.3%	48.5%
	Pastagem	3.0%	5.3%	36.8%	36.4%
	Silvilcutura	0.0%	0.0%	0.3%	0.3%
	Solo Exposto	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%

Figura 8 – Localização das estações amostrais na bacia hidrográfica do rio Duas Bocas – ES.

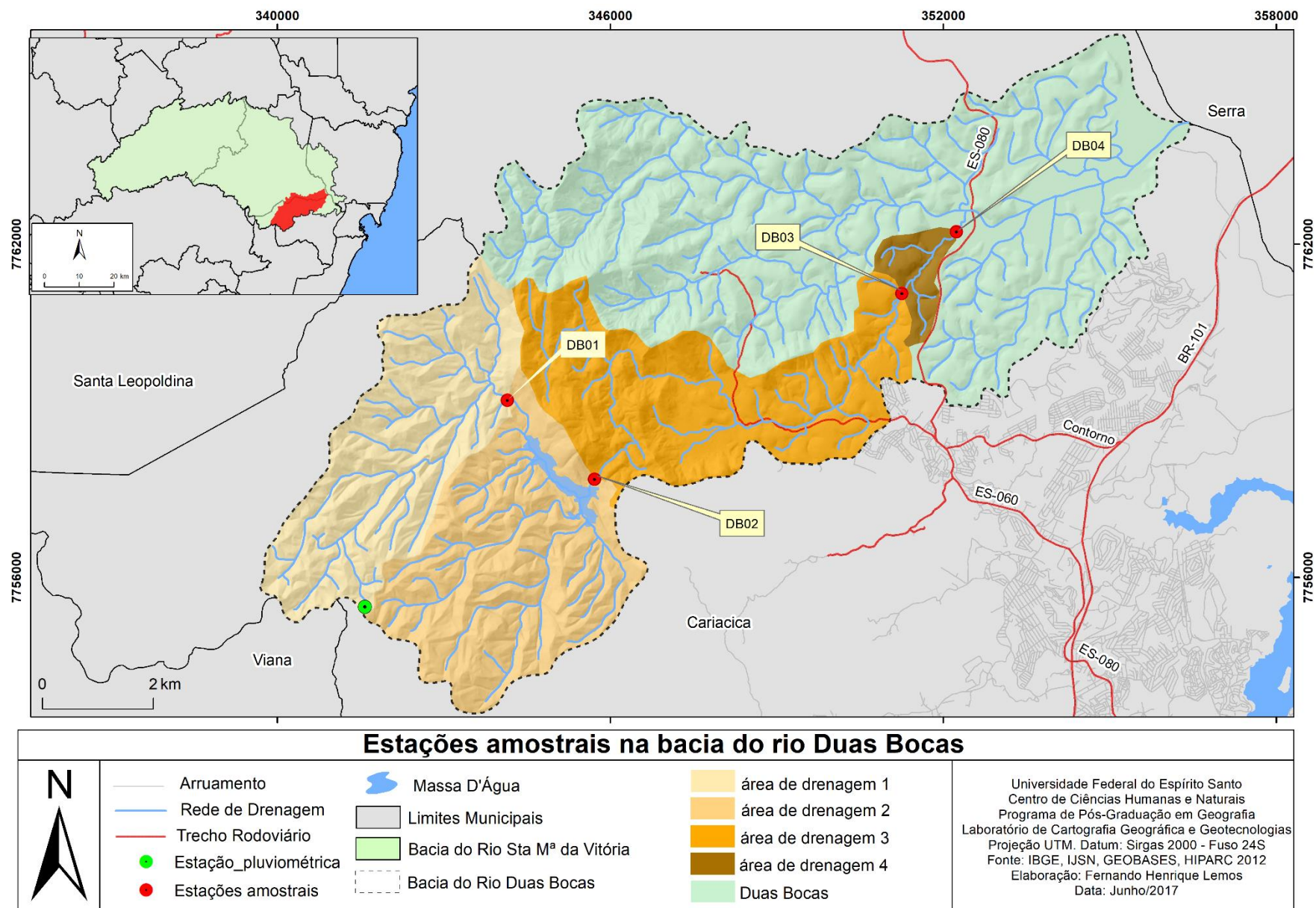
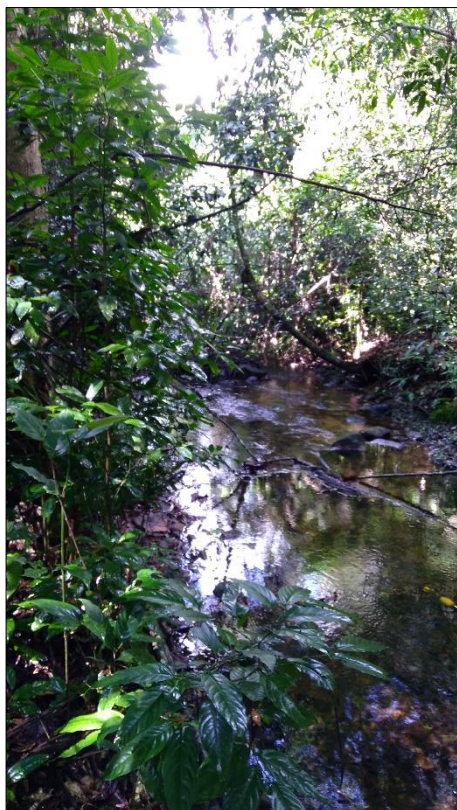


Figura 9 – Perspectivas das estações amostrais: DB01) riacho baixo montano no Córrego Pau Amarelo; DB02) estação a jusante da ETA de Duas Bocas, no rio Duas Bocas; DB03) Rio Duas Bocas, terço inferior; DB04) estação localizada próximo ao exutório (1,5 km da confluência com o Rio Stª Maria).

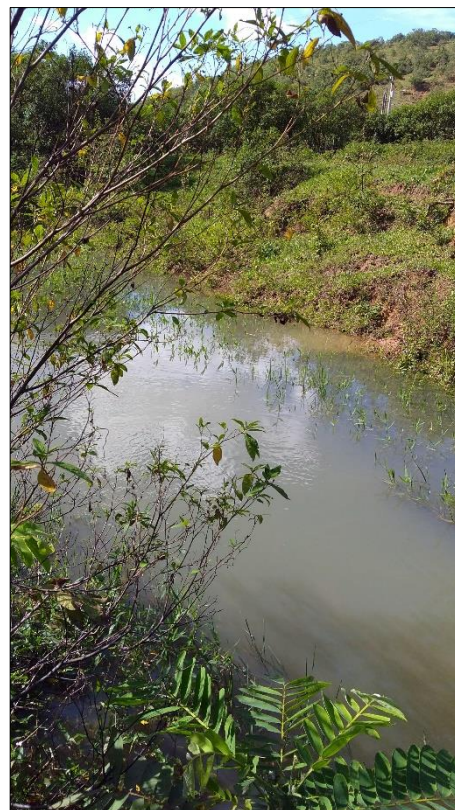
DB01)



DB02)



DB03)



DB04)



No critério de escolha das estações amostrais considerou-se os diferentes usos e coberturas da bacia, assim sendo, áreas com vegetação nativa, áreas urbanizadas, com cultivos agrícolas e pastagens. A primeira estação (DB01) está localizada no Córrego Pau amarelo em uma área de Mata Atlântica, nos limites da ReBio de Duas Bocas. A segunda, DB02 está aproximadamente 100 m à jusante da Represa Duas Bocas. A terceira DB03 localiza-se no terço inferior da bacia do rio Duas Bocas. A estação DB04 está localizada na planície de inundação, próxima ao exutório (1,5 km da confluência com rio Santa Maria da Vitória) (Figura 8).

5.2 AMOSTRAGEM PLUVIOMÉTRICA

Os dados pluviométricos utilizados, discretizados em intervalos de 5 minutos, foram obtidos junto à estação pluviométrica instalada na cabeceira do córrego Pau Amarelo, a 740 m de altitude (Figura 8). O período de dados utilizados correspondeu ao período de agosto de 2016 a agosto de 2017. Foram calculados os acumulados mensais, quinzenais e de 5 dias anteriores as amostragens do período de estudo.

5.3 MEDIÇÃO DE VAZÃO

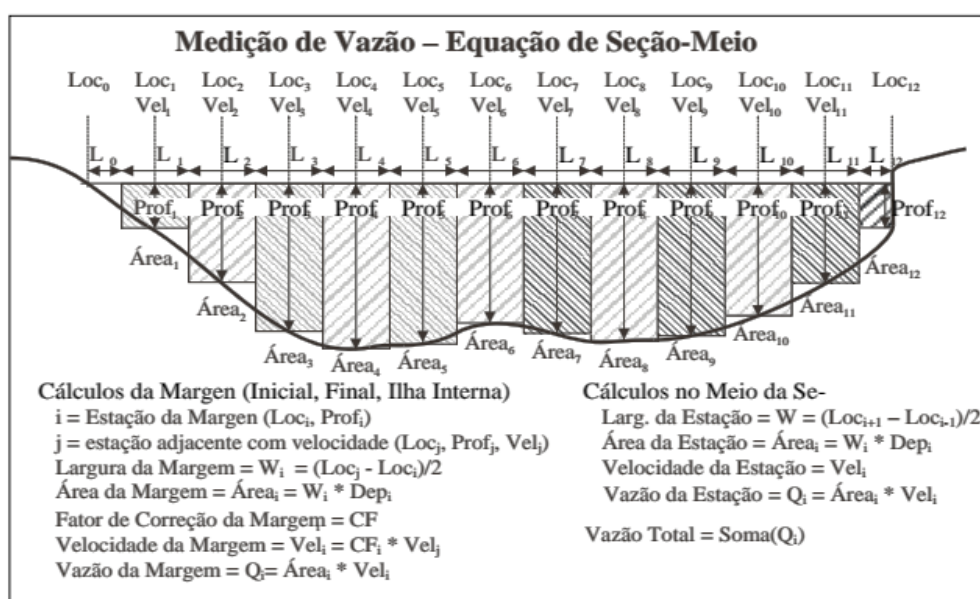
Para determinação das vazões foi utilizado o *Acoustic Doppler Velocimeter (ADV – Flow Tracker)* (Figura 10). O equipamento emprega o efeito Doppler medindo a mudança na frequência do som refletido das partículas na água. O princípio do efeito é verificado na variação da frequência nas ondas quando emitidas ou refletidas por um objeto que está em movimento com relação a observador (CAMARGO, 2012).

Figura 10 – Medição da vazão na terceira estação amostral do rio Duas Bocas (ES).



A equação utilizada para o cálculo de Vazão pelo equipamento e definido pelo usuário foi a da Secção-Meio (Figura 11). Esta equação foi escolhida por ser utilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos e Agência Nacional das Águas, possibilitando a comparação com dados destas agências.

Figura 11 - Modelo de medição de vazão pelo método da equação da secção meio no rio Duas Bocas (ES).



5.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Em cada estação amostral foram determinados os seguintes parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH); temperatura (°C); oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹); condutividade elétrica (μS.cm⁻¹); sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹) e Turbidez (UNT), que foram obtidas *in situ*, utilizando-se a sonda multiparâmetros HORIBA U-53. Na Tabela 4 estão descritos os princípios analíticos para cada parâmetro.

Tabela 4 - Resumo dos princípios analíticos da sonda multiparâmetros

Parâmetro	Princípio Analítico	Unid. de medida
Cond. Elétrica	Condutivimétrico	μS. cm ⁻¹
Oxig. Dissolvido	Eletroquímico	mg. L ⁻¹
pH	pHmetro	-
Sól. totais dissolvidos	Conversor de condutividade	mg.L ⁻¹
Temperatura	Sensor térmico	°C
Turbidez	Nefelométrico	UNT

5.5 COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Para a coleta de água nos pontos amostrais, inicialmente foram adotados alguns procedimentos para evitar a contaminação e assegurar a conservação das amostras de água coletadas. As amostras de água fluvial foram coletadas em frascos de polipropileno de 1L, previamente descontaminados, e posteriormente acondicionadas em caixa térmica contendo gelo, para transporte do campo até o laboratório. As amostras foram separadas e armazenadas congeladas.

5.6 ANÁLISE HIDROQUÍMICA

As análises hidroquímicas foram realizadas no Laboratório de Limnologia e Planejamento Ambiental – LimnoLab, UFES. A determinação das concentrações de fósforo total, nitrogênio total, nas amostras de água seguiram os métodos descritos em APHA (2005) e Carmouze (1994). As amostras foram digeridas simultaneamente com persulfato de potássio sob alta pressão e temperatura, convertendo as espécies orgânicas em inorgânicas.

5.6.1 Fósforo total

O fósforo total foi determinado sob a forma de ortofosfato, após digestão do material orgânico. Para análise deste íon utilizou-se o método de ortofosfato em espectrofotometria a 885 nm com reação do ácido ascórbico (Espectrofotômetro, Micronal AJX – 6100 PC), com os resultados expressos em $\mu\text{g.L}^{-1}$ (CARMOUZE, 1994).

5.6.2 Nitrogênio total

No procedimento selecionado se reduz o nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) a partir da passagem da amostra numa coluna com cádmio (i.e., uma amálgama cádmio-cobre que aumenta a eficiência de redução do NO_3^- a NO_2^-). A solução reduzida é tratada seguindo os procedimentos para determinação de nitrito. Após a reação da sulfanilamida e meio ácido com N- (1-Naftil) forma-se um complexo de diazotação. Após 10 minutos a leitura é feita a 540 nm, no espectrofotômetro.

5.7 CÁLCULO DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

Anterior ao processo de filtração da amostra de água coletada ao longo do rio, as membranas de éster de celulose com 47 mm de diâmetro e 0,45 μm de poro foram secas em estufa com temperatura de 60 °C por 24 h. Posteriormente foram acondicionadas em dessecador com sílica gel para resfriamento por um período de 2 horas.

As membranas foram pesadas em balança analítica (0,1 mg) da marca *Scaltec Instruments* modelo SBC 31, obtendo-se o peso inicial (P_1). As amostras foram filtradas em sistema de filtração a vácuo.

Após a filtragem as membranas foram secas em estufa e pesadas, obtendo-se o peso final (P_2). A quantidade de sólidos em suspensão foi determinada pela massa dos filtros em mg.L^{-1} . Esse procedimento analítico é baseado no método gravimétrico proposto por APHA (2005), conforme a seguinte equação:

$$C_{ss} = \frac{(P_1 - P_2)1000}{V} \quad (3)$$

Onde:

C_{ss} - concentração de sólidos em suspensão (mg.L^{-1});

P_1 - peso seco (mg) da membrana antes da filtração da amostra;

P_2 - peso seco (mg) da membrana após a filtração da amostra (peso da membrana + resíduo);

V - volume filtrado em mililitros (mL).

5.8 DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DE DRENAGEM

A partir das 4 estações amostrais distribuídas ao longo do canal principal do rio Duas Bocas foram estabelecidas as áreas de drenagem¹. Orientadas de montante à jusante, cada área de contribuição corresponde a toda área a montante da estação amostral analisada, conforme a Figura 8. A área ao norte da BHRDB pertence ao córrego Sabão que esteve sem água, mesmo no período chuvoso, inviabilizando qualquer tipo de análise.

5.9 CÁLCULO DOS FLUXOS

Para a determinação da descarga dos sólidos em suspensão e nutrientes foi adotado o método simplificado de Colby (1957 in Carvalho, 2008) e Wagner (2009) considerando a concentração na água e a vazão fluvial na estação amostral.

$$Q_{ss} = C_{ss} * Q * 86,4 \quad (4)$$

Onde,

¹ Bacia de drenagem é área que drena água, sedimento e material dissolvido para uma saída comum no mesmo ponto ao longo do canal. [...]. Qualquer número de bacias de drenagem pode ser definido na paisagem, dependendo da localização da saída da drenagem, em um curso de água (DUNNE e LEOPOLD, 1978, p.495).

Q_{ss} - carga ou fluxo (Kg.dia^{-1})

C_{ss} - concentração (mg.L^{-1})

Q - descarga instantânea ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)

86,4 - Fator de correção

A produção de sólidos em suspensão e nutrientes (P_{cs}) para cada estação amostral foi obtida pela equação 5, conforme Carvalho (2008):

$$P_{cs} = \frac{Q_{ss}}{A} \quad (5)$$

Onde,

P_{cs} - carga total em suspensão de Nt, Pt ou SS ($\text{kg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)

Q_{ss} - concentração de Nt, Pt ou SS (kg.ano^{-1})

A - área (km^2)

5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística teve por objetivo avaliar o padrão de distribuição espacial e temporal das variáveis físico-químicas, sólidos em suspensão e nutrientes na calha do rio Duas Bocas. Para isso foi realizado o teste *Kolmogorov–Smirnov* de normalidade (HOLLANDER; WOLFE, 1999).

5.10.1 Teste Kruskal Wallis

Para analisar a variação dos parâmetros estudados no perfil longitudinal do rio Duas Bocas aplicou-se o teste Kruskal Wallis.

O teste de Kruskal Wallis é um teste não paramétrico análogo ao teste ANOVA². Indica se há diferença entre pelo menos duas das amostras independentes

estudadas, assim sendo, usa-se este teste para determinar se as medianas de dois ou mais grupos diferem (HOLLANDER; WOLFE, 1999).

Para determinar se alguma das diferenças entre as medianas é estatisticamente significativa, compara-se o valor-p com o seu nível de significância a fim de avaliar a hipótese nula. A hipótese nula para o teste é a de que a distribuição das medianas seja a mesma para todos as populações. A hipótese alternativa é a de que as respostas sejam sistematicamente maiores em algumas populações que outras. (MOOR; McCABE, 2002).

De forma geral, assume-se o nível de significância de 0,05. Um nível de significância de 0,05 indica que o risco de se concluir que existe uma diferença quando, na verdade, não existe nenhuma diferença real, é de 5%.

5.10.2 Coeficiente de Correlação de Spearman

Para observar possíveis correlações entre os parâmetros estudados foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman. A correlação avalia com que intensidade a relação entre duas variáveis contínuas ou ordinais pode ser descrita pelo uso de uma função monótona. Em uma relação monotônica, as variáveis tendem a mudar juntas, mas não necessariamente a uma taxa constante (HOLLANDER; WOLFE, 1999).

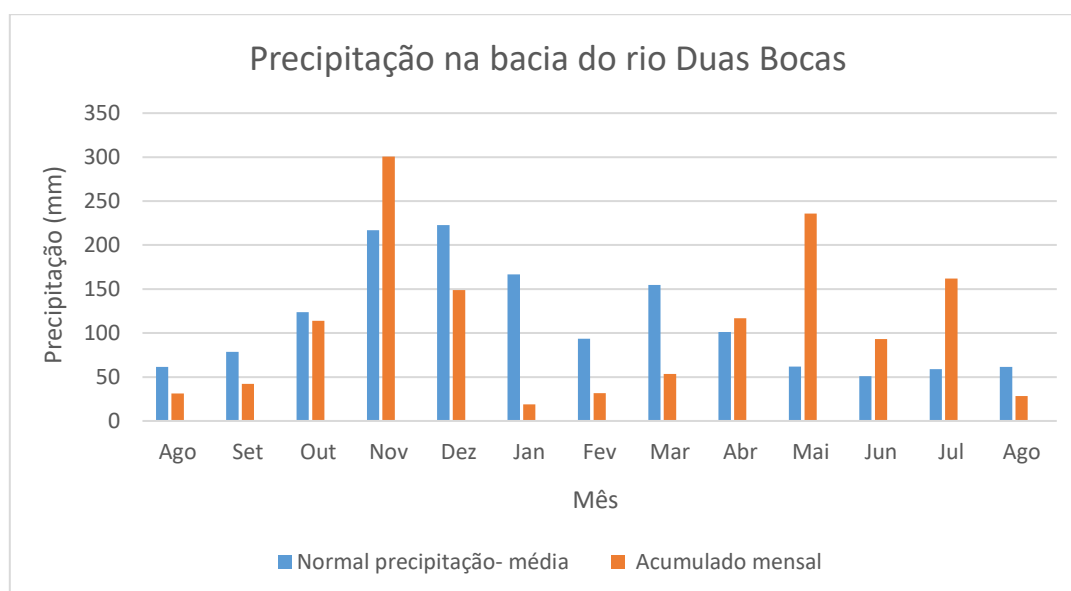
2 O teste ANOVA tem por objetivo avaliar se as diferenças entre as médias amostrais são estatisticamente significantes (MOORE e MCCABE, 2002, p.410).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MONITORAMENTO PLUVIOMÉTRICO

Os valores de precipitação registrados no período de estudo não apresentaram similaridade aos registrados na normal de precipitação (Figura 12). A precipitação média mensal (normal) apresenta uma concentração mais elevada no período de outubro a março, com média de 162,9 mm por mês e nos meses de menor pluviosidade, de abril a setembro, o valor de 68,7 mm por mês.

Figura 12 - Normal de precipitação média mensal e o acumulado de precipitação média



Adaptado Bastos *et al.* (2015).

Os valores registrados para a precipitação acumulada mensal durante o período estudado mostram que a precipitação ficou abaixo da média entre os meses de agosto de 2016 a março de 2017, sendo os meses de outubro, setembro, janeiro, fevereiro e março os que apresentaram o menor acumulado mensal, 31,24; 42,16; 18,80; 31,75 e 53,34 mm, respectivamente.

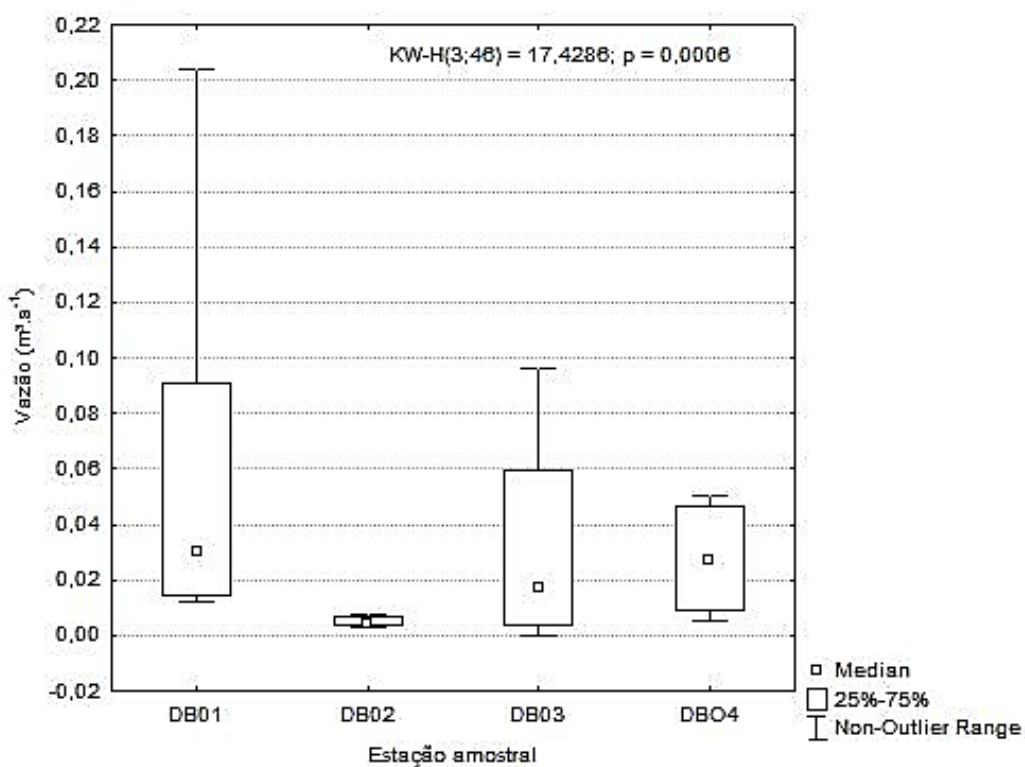
Os maiores acumulados de chuva correspondem aos meses de novembro de 2016 e maio de 2017, exceto o mês de novembro, com respectivamente, 300,48 e 235,97 mm. Quando comparados estes valores obtidos a média da normal,

verificou-se que estes meses estudados apresentaram um desvio positivo de precipitação pluvial, 83,68 e 174,27 mm, respectivamente.

6.2 VARIABILIDADE DA VAZÃO

Os resultados de vazão apresentaram diferenças entre as estações amostrais ao longo do rio Duas Bocas (Figura 13). Na estação DB01 foram obtidos os maiores valores de vazão, com máxima de $0,2041 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, mínima de $0,002 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, média de $0,05 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão 0,05.

Figura 13 - Variabilidade da vazão nas estações amostrais



A estação DB02 apresentou os menores valores de vazão, com máxima de $0,019 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ mínima de $0,003 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ média de $0,006 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão de 0,004 não sofreram grandes variações no decorrer das campanhas, resultando na baixa variabilidade interna e menor desvio padrão. Tais características estão associadas ao efeito do reservatório de Duas Bocas a montante da estação DB02, que represa água proveniente dos córregos Pau amarelo, Naiá-assú,

Panelas e Sertão Velho para abastecimento urbano de água do município de Cariacica.

Este tipo de intervenção feita ao longo do curso do rio causa modificações nas características naturais na dinâmica hidrológica que resultam em uma mudança significativa no seu regime hidrológico, especialmente, em seu seguimento a jusante (BRANDT, 2000). A exemplo, a diminuição do volume de água no canal principal, devido ao rompimento do equilíbrio longitudinal do rio (COELHO, 2008; MARTINS *et al.*, 2011).

Na estação DB03 foram registrados os menores valores de vazão, com máxima de $0,213 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, mínima de $0,0003 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, média de $0,040 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão $0,059$. Na estação DB04 foram registrados valores de vazão máxima de $0,164 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, mínima de $0,006 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, média de $0,038 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e um desvio padrão $0,047$. Ressalta-se que a estação DB04 teve o menor n amostral dentre as estações amostrais, o que pode ter corroborado para menor dispersão dos dados em relação à estação DB03.

Para verificar a correlação entre a vazão medida ao longo do rio Duas Bocas e a pluviosidade foram consideradas a pluviosidade média mensal, o acumulado mensal e, os acumulados de 15 e 5 dias anteriores as amostragens (Tabela 5).

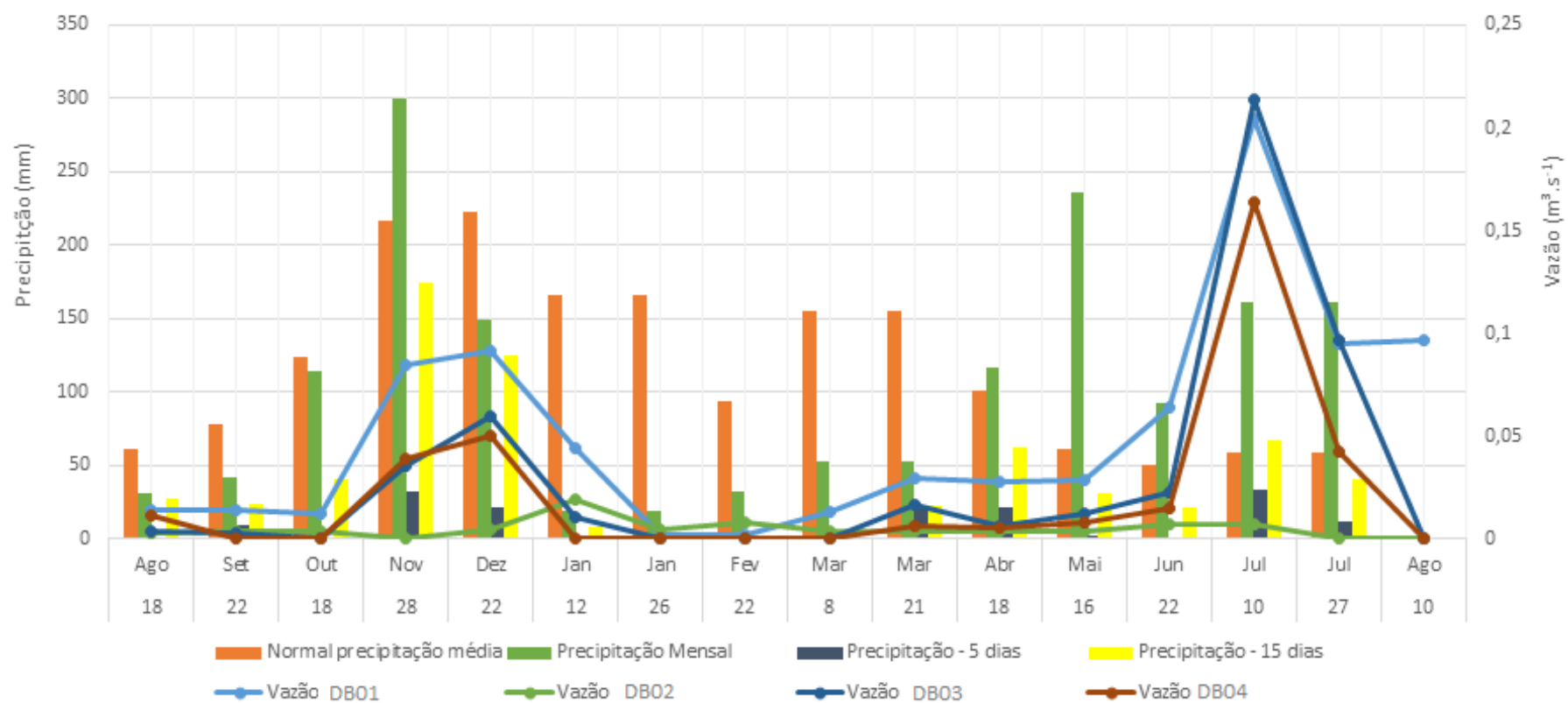
Tabela 5 – Correlação chuva - vazão

	Vazão	Acumulado mensal	Acumulado 15 dias	Acumulado 5 dias
Vazão	1			
Acumulado mensal	0,42	1		
Acumulado 15 dias	0,43	0,63	1	
Acumulado 5 dias	0,41	0,7	0,56	1

Conforme observado, houve correlação entre a vazão e os acumulados mensais, quinzenais e de 5 dias anteriores as amostragens. Dessa forma, os acumulados de precipitação de 15 e 5 dias são resultados que melhor podem explicar a variabilidade da vazão no rio Duas Bocas.

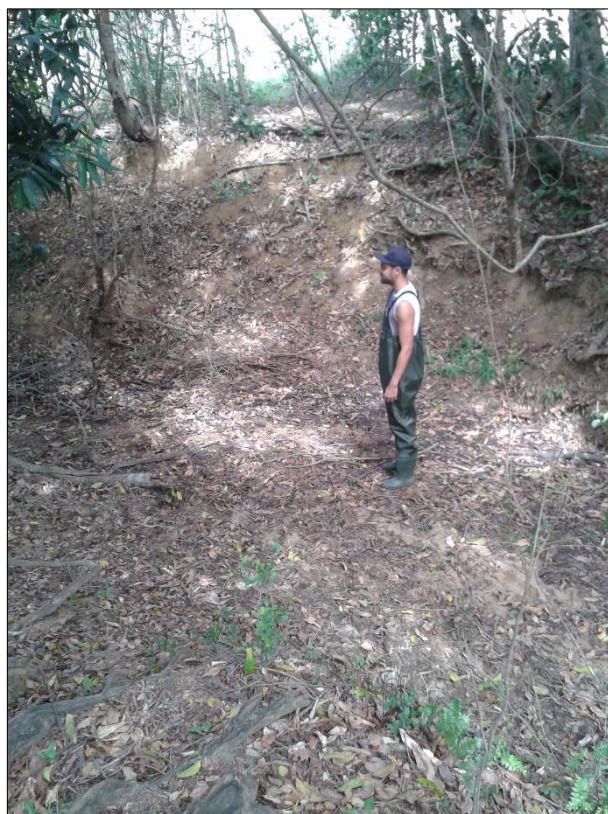
Contudo, a vazão da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas possui uma sensibilidade diferente em relação aos acumulados de precipitação considerados no estudo, devido à recarga do sistema hidrológico. A figura 14 mostra a relação entre a precipitação média mensal e os acumulados mensais, de 15 e 5 dias anteriores às amostragens.

Figura 14 - Variabilidade de vazão fluvial x precipitação nas estações amostrais.



Nesta relação estreita entre a vazão e a precipitação é verificado que a diminuição dos acumulados pluviométricos tem efeitos diretos sobre a disponibilidade de água no canal fluvial analisado. Nota-se um período de estiagem nos meses em janeiro, fevereiro e março de 2017, com um total acumulado de 18,80; 31,75; 53,34 mm, respectivamente. A estação DB04 apresentou a maior variabilidade em relação a precipitação, havendo a interrupção do fluxo durante o período de estiagem (Figura 15).

Figura 15 - Estação DB04 na campanha do dia 26/01/2017.



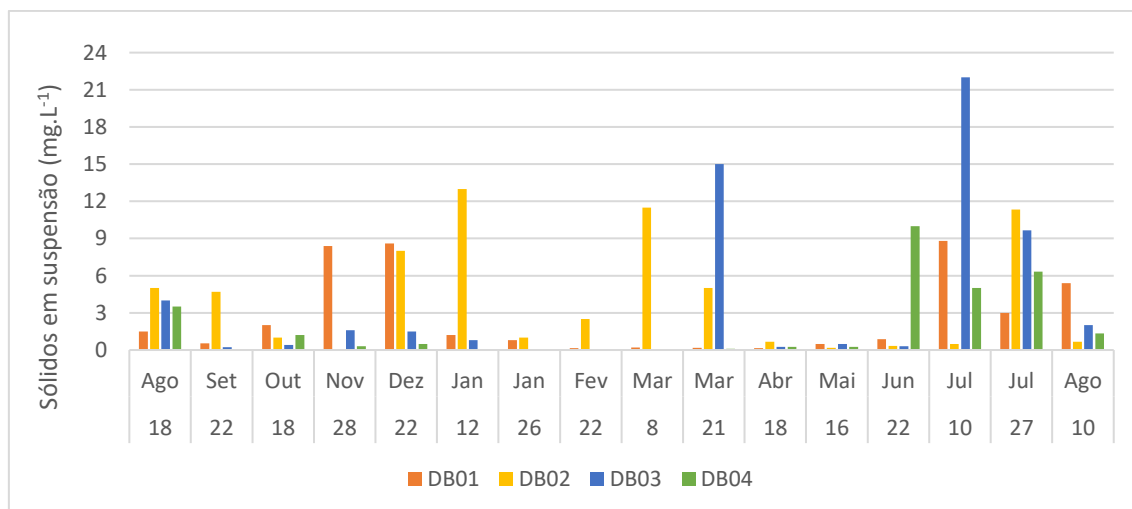
Observa-se que no dia 10 de julho foi obtido o maior acumulado de chuva antecedente de 5 dias (33,2 mm) e a maior vazão fluvial nas estações amostrais DB01, DB03 e DB04 (0,204, 0,213, 0,164 m³.s⁻¹, respetivamente). Durante o monitoramento, as menores vazões foram observadas nos meses de agosto, setembro e outubro de 2016 e, em janeiro e fevereiro de 2017, concomitante ao período de menor pluviosidade.

As quatro estações amostrais apresentaram resultados semelhantes quando associadas as vazões e à precipitação acumulada de 5 dias. Contudo, vale ressaltar que na BHRDB ocorre uma concentração de chuvas na área de cabeceira que diminui gradativamente a jusante (Figura 4), resultando em diferenças na vazão ao longo do canal do rio.

6.3 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NO RIO DUAS BOCAS

Ao todo foram realizadas 16 amostragens para cada uma das quatro estações amostrais distribuídas ao longo do canal principal do rio Duas Bocas a fim de determinar concentração de sólidos em suspensão (C_{ss}). A análise estatística descritiva está apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Concentração dos sólidos em suspensão nas estações amostrais.



Nota: A estação DB02, na campanha do dia 22/02/2018, apresentou uma concentração de sólidos em suspensão de 52 mg.L⁻¹. O valor não foi representado por ser um *outlier* e provocar distorção no gráfico.

Como observado na tabela 6, a concentração de sólidos em suspensão apresenta alta variabilidade interna e entre as estações amostrais. Este resultado pode ser atribuído as diferentes condições ambientes do meio, como

constatado pelos altos valores de desvio-padrão e coeficiente de variação. A exemplo da estação DB02, onde o valor máximo registrado possivelmente influência nos valores de desvio padrão e coeficiente de variação.

Neste sentido, os dados obtidos em campo apresentam alta dispersão em relação à média que pode estar distorcida por valores extremos. Com isso, a mediana foi utilizada como valor referencial, algo corroborado pelo teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* que indicou a não normalidade dos dados.

A concentração de sólidos em suspensão apresentou os menores valores na estação DB01, atingiu os maiores valores na estação DB02, diminuindo gradualmente sentido a jusante até a estação DB04.

As menores concentrações de sólidos em suspensão encontradas na estação DB01, com valores que variaram de 0,14 a 8,80 mg.L⁻¹, corresponderam aos menores e maiores valores de vazão, corroborando a estreita relação entre estas variáveis. Concentrações, ligeiramente, menores foram verificadas por Cupertino (2018) na bacia do córrego Pau Amarelo, em média 1,07 mg.L⁻¹, cabendo salientar que durante o seu período amostral também foram registradas vazões menores, 0,03 m³.s⁻¹ em média.

Os baixos valores de C_{ss} na estação DB01 possivelmente estão relacionados à densa cobertura vegetal e sua importância no processo de interceptação da chuva, proteção contra o efeito de salpicamento e o escoamento superficial, reduzindo a ocorrência de problemas ligados à erosão. (MACHADO; TORRES, 2012; MORGAN, 2005).

A estação amostral DB02, por estar localizada após a barragem de Duas Bocas, deveria apresentar uma redução na concentração de sólidos em suspensão, conforme estudos de impactos de barragem (CARVALHO, 2008; COELHO, 2008). Todavia, a estação apresentou a maior concentração média no período de estudo, o que é atribuído às descargas de efluentes da estação de tratamento de água (ETA) a montante da estação, as quais (re)suspende materiais particulados em suspensão presentes no curso fluvial.

Em todas as estações amostrais nota-se uma tendência ao aumento da concentração dos sólidos em suspensão com o aumento da vazão, de modo

geral, com diminuição da vazão ocorre a diminuição da concentração dos sólidos em suspensão.

As descargas de sólidos em suspensão, nas estações amostradas da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, que representam o produto das concentrações pelas vazões, estão presentes na Tabela 6.

Tabela 6 – Descargas líquidas e sólidas mensais nas estações amostrais da bacia do rio Duas Bocas.

Ano	Mês	BD01			DB02			DB03			DB04		
		Q m ³ .s ⁻¹	Css mg.L ⁻¹	Qss Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	Css mg.L ⁻¹	Qss Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	Css mg.L ⁻¹	Qss Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	Css mg.L ⁻¹	Qss Kg.dia ⁻¹
2016	Ago	0,0142	1,50	1,84	0,0029	5,00	1,25	0,0039	4,00	1,35	0,0116	3,50	3,51
	Set	0,0139	0,54	0,65	0,0036	4,69	1,46	0,0028	0,24	0,06	*	1,20	
	Out	0,0121	2,00	2,09	0,0038	1,00	0,33	0,0003	0,40	0,01	S		
	Nov	0,0845	8,40	61,33	*	52,00		0,0359	1,60	4,96	0,0392	0,30	1,02
	Dez	0,0912	8,60	67,77	0,0043	8,00	2,97	0,0598	1,50	7,75	0,0505	0,50	2,18
	Jan	0,0228	1,00	1,97	0,0117	7,00	7,11	0,0109	0,80	0,75	S		
2017	Fev	0,0021	0,14	0,03	0,0079	2,50	1,71	S			S		
	Mar	0,0214	0,18	0,34	0,0035	8,25	2,49	0,0170	15,00	22,03	0,0060	0,10	0,05
	Abr	0,0275	0,14	0,33	0,0033	0,67	0,19	0,0066	0,25	0,14	0,0055	0,25	0,12
	Mai	0,0286	0,50	1,24	0,0034	0,18	0,05	0,0127	0,50	0,55	0,0080	0,25	0,17
	Jun	0,0640	0,88	4,87	0,0039	0,33	0,11	0,0230	0,30	0,60	0,0152	10,00	13,13
	Jul	0,1497	5,90	76,31	0,0070	5,92	3,58	0,1549	15,84	211,99	0,1032	5,67	50,54
	Ago	0,0968	5,40	45,16	*	0,67		*	2,00		*	1,33	
Média		0,0484	2,71	20,30	0,0050	7,40	1,93	0,0298	3,54	22,75	0,0299	2,31	8,84
Mediana		0,028	1,00	1,97	0,004	4,69	1,45	0,013	1,15	0,75	0,013	0,85	1,59
Desv. P.		0,043	3,1	29,0	0,003	13,2	2,0	0,043	5,4	60,2	0,032	3,1	16,3
C.V.		88,9	113,1	142,6	52,0	178,3	103,6	144,0	153,2	264,5	106,3	133,2	184,1

Nota: Q - vazão, Css- concentração de sólidos em suspensão, Qss - descarga sólida em suspensão S - curso d'água seco, * problemas técnicos operacionais

A estação DB01 apresenta uma alta descarga de sólidos em suspensão quando comparada as demais estações, porém deve-se considerar que a estação possui o maior n amostral e os maiores valores de vazão, mesmo em períodos de estiagem que variaram de 0,0021 a 0,1497 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Como a descarga sólida é uma relação entre a vazão e a concentração de sedimentos, mesmo com baixa C_{ss} a estação apresenta uma alta descarga sólida em suspensão por conta de sua vazão em relação aos demais pontos amostrais.

Resultados diferentes foram encontrados na estação DB02, onde as medições de vazão apresentaram os menores valores dentre as estações amostrais, variando de 0,0029 a 0,0079 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Salienta-se que devido à localização espacial da estação DB02, a vazão é influenciada pelo reservatório de Duas Bocas a partir da necessidade abastecimento da população. Segundo Santos (2012), independentemente do tamanho do rio, são transportados ao longo do curso, sedimentos oriundos de erosões de solo e das rochas e a construção da barragem impede ou reduz este ciclo natural.

Outro aspecto também deve ser considerado é o lançamento de efluentes da ETA a montante da estação amostral que (re)suspende partículas no canal fluvial (Figura 17 e 18). Foi registrado na campanha de novembro de 2016 a concentração foi de 52 mg.L^{-1} após o despejo da estação de tratamento de água, o volume de água no canal aumentou bruscamente, com isso, não foi possível determinar a vazão.

Figura 17 - Estação de tratamento de água.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 18 - Despejo da estação de tratamento de água no rio Duas Bocas.



Fonte: Acervo do autor.

A alteração da cobertura vegetal natural para uso agrícola, como acontece da estação DB02 a jusante, pode modificar a produção de sedimentos em várias

ordens de magnitude. Huang *et al.* (2013), ao analisar alterações na carga de sedimentos no rio Yangtzé (China), atribuiu a mudança de cobertura vegetal, para áreas de pastagem um incremento de 50% na carga de sedimento. (VERCRUYSSSE *et al.*, 2017).

As estações DB03 e DB04 apresentam valores similares de vazão, $0,029 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ em média e $0,013 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ de mediana, porém a estação DB03 possui uma concentração de sólidos em suspensão expressivamente maior. Embora, ambas estações tenham predominância de ocupação de pastagens e pecuária extensiva, o leito do rio Duas Bocas na estação DB03 é utilizado para a travessia de bovinos, enquanto na estação DB04 possui mata ciliar o que diminui o aporte proveniente das encostas adjacentes. Deve-se ainda considerar a vegetação na calha do rio e o alargamento da seção como retentores de sedimento.

Ainda no que diz respeito a descarga sólida em suspensão, os resultados sugerem uma relação com sazonalidade, visto que os meses com as menores precipitações apresentaram as menores descargas em relação aos demais meses avaliados, resultando em menores descargas sólidas e vazão. Foi verificada uma correlação positiva entre as variáveis vazão e sólidos em suspensão.

Segundo Carvalho (2008), a distribuição longitudinal do sedimento no curso d'água é melhor expressa em termos de produção de sedimento. A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para produção de sólidos em suspensão nas estações amostrais do rio Duas Bocas para o período de estudo. A Figura 19 representa o perfil topográfico da bacia com as estações amostrais.

Tabela 7 - Produção de sólidos em suspensão ao longo do rio Duas bocas.

BD01	DB02	BD03	BD04
$\text{t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$			
0,051	0,017	0,005	0,012

Figura 19 - Perfil topográfico da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas com a localização das estações amostrais



Conforme observado, o comportamento sedimentológico da BHRDB é muito variável desde as partes mais altas (patamares escalonados Sul Capixaba), onde está localizado a estação DB01, até as áreas de planície (Planície Fluvial) da estação DB04. De forma geral, na alta bacia ocorreu a maior erosão e transporte de sedimentos, diminuindo à jusante à medida que a declividade, altitude e precipitações diminuem (CARVALHO, 2008).

Na estação DB01 foram produzidos $0,05 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ de sedimentos em suspensão, sendo o maior valor dentre os locais amostrados, seguido pela estação DB02, que produziu $0,017 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. O valor verificado na estação amostral DB01 é próximo ao encontrado por Cupertino (2018), que foi de $0,09 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Salienta-se que durante o período analisado as estações DB02, DB03 e DB04 tiveram a vazão diminuída, ou mesmo, secaram (Figura 15), evidenciando que em períodos de estiagem o médio e baixo curso são mais afetados pela diminuição ou ausência de precipitação pluvial, potencializado pela relação da água com o seu uso e cobertura da terra, com predomínio da classe Pastagem, Agricultura (Banana) e, solo exposto.

Vale ressaltar que para o cálculo de produção de sedimentos, entre as variáveis estão a vazão e a área da bacia de drenagem. Considerando que se trata do mesmo canal fluvial e que a cada estação amostral a área de drenagem a montante é somada as estações DB03 e DB04, corroborando para que possuam as maiores áreas de drenagem. Contudo, a vazão não acompanhou este

crescimento por conta da estiagem e secagem das estações amostrais, diminuindo os valores de produção de sedimentos.

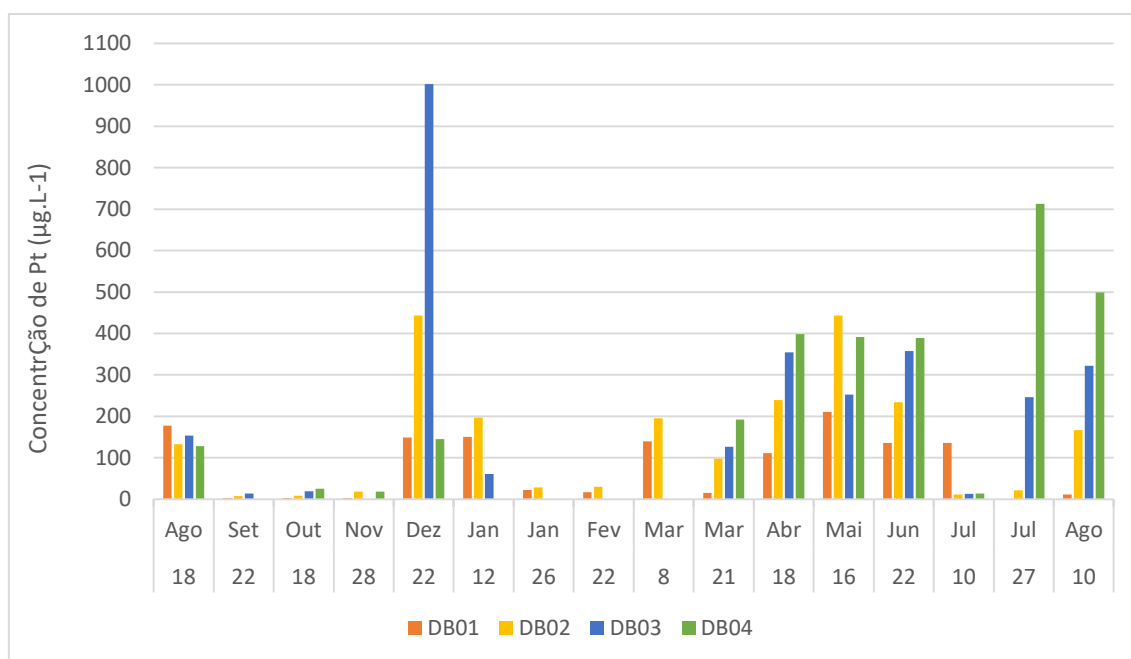
6.4 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DO FÓSFORO

A respeito da distribuição longitudinal do P, obteve-se a concentração máxima e mínima na estação DB01 de 211,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 1,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, com média de 80,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Já a estação DB02 apresentou concentração máxima de 443,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e mínima de 7,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e, valor médio de 142,2 $\mu\text{g.L}^{-1}$; já a estação 03 apresentou valor máximo e mínimo respectivamente de 1001,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 0,6 $\mu\text{g.L}^{-1}$, com média de 224,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$; por fim, a estação DB04 apresentou valor médio de 264,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$, máximo de 713,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e mínimo de 13,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

A máxima concentração de Fósforo nas estações ocorreu entre os meses de abril e julho, sendo que no caso da estação DB04, ocorreu uma única exceção no mês de agosto (Figura 20). Também, como pode ser observado a partir da mediana, a estação DB01 foi a que apresentou a menor mediana, coeficiente de variação e desvio padrão, em relação as demais estações, sendo esta estação associada ao efeito da cobertura vegetal de Mata Atlântica.

Verifica-se que ao longo do perfil longitudinal que ocorreu um aumento nas concentrações médias de Fósforo para jusante ou próximo do exutório, com altos valores de mediana, coeficiente de variação e desvio padrão.

Figura 20 - Concentração de Pt nas estações amostrais



Nota: s - curso d'água seco

De modo geral, as menores concentrações de Pt no período de amostragem foram verificadas na estação DB01, área de cobertura de mata nativa, as concentrações variaram entre 3,1 a 177,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sugerindo que os processos de controle da dinâmica biogeoquímica do fósforo diferem ao decorrer do ano.

Em ambientes florestados, a movimentação e transferência de fósforo para os rios acontece em função da ação do intemperismo de minerais de rochas e solos, juntamente com ciclos de absorção e regeneração biológica (MAINSTONE; PARR, 2002). A ciclagem deste nutriente é impulsionada por atividades heterotróficas, que em rios com cobertura vegetal depende da serapilheira e outros detritos da zona ribeirinha (WHITER; JAVIER, 2008).

As concentrações de Pt aumentaram gradualmente sentido jusante, indicando o incremento deste nutriente aos diferentes usos e coberturas da bacia. Após áreas agrícolas e do perímetro urbano, nas estações DB03 e DB04, foi verificado o aumento considerável deste nutriente que chegou até 1001,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em dezembro de 2016 na estação DB03.

O aumento das concentrações de Pt nas estações DB02, DB03 e DB04, também refletem a contribuição de áreas agrícolas. De maneira geral, as concentrações de Pt aumentaram com a diminuição da vazão, ou seja, menos diluição das águas fluviais, nessas condições ocorre o aumento nas concentrações. Contudo, deve-se considerar a influência do escoamento em solos agrícolas enriquecidos por fertilizantes, que podem ser lixiviados para águas fluviais durante eventos de chuva (DODDS SMITH, 2016).

Em áreas de atividades agrícolas, o escoamento superficial apresenta concentrações e formas de P bastante variáveis. A dinâmica deste é bastante complexa, dado que as formas transportadas são influenciadas pelas características do solo, regime de chuvas, o tipo de cultivo e das características químicas dos fertilizantes aplicados (LWIN *et al.*, 2017).

As cargas de fósforo total nas estações amostradas da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, que representam o produto das concentrações pelas vazões estão presentes na Tabela 8. As cargas de Pt variaram de 0,04 a 0,2 kg.dia⁻¹, de mediana ao longo do canal fluvial.

Tabela 8 - Carga de Pt por dia nas estações amostrais.

Ano	Mês	BD01			DB02			DB03			DB04		
		Q m ³ .s ⁻¹	CP μ.L ⁻¹	QPt Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CP μ.L ⁻¹	QPt Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CP μ.L ⁻¹	QPt Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CP μ.L ⁻¹	QPt Kg.dia ⁻¹
2016	Ago	0,0142	177,9	0,218	0,0029	133	0,033	0,0039	153,5	0,052	0,0116	128	0,128
	Set	0,0139	3,2	0,004	0,0036	7,90	0,002	0,0028	13,50	0,003	*		
	Out	0,0121	2,9	0,003	0,0038	8,30	0,003	0,0003	19,10	0,0005	S	25,6	
	Nov	0,0845	3,1	0,023	*	18,3		0,0359	0,60	0,002	0,0392	18,3	0,062
	Dez	0,0912	148,6	1,171	0,0043	443,6	0,165	0,0598	1001,5	5,174	0,0505	144,9	0,632
	Jan	0,0228	86,40	0,170	0,0117	112,55	0,114	0,0109	60,60	0,057	S		
2017	Fev	0,0021	16,7	0,003	0,0079	30,3	0,021	S			S		
	Mar	0,0214	77,25	0,143	0,0035	146,60	0,044	0,0170	126,20	0,185	0,0060	192,4	0,100
	Abr	0,0275	111,4	0,265	0,0033	239	0,068	0,0066	354,6	0,202	0,0055	398,7	0,189
	Mai	0,0286	211,1	0,522	0,0034	443,6	0,130	0,0127	252,6	0,277	0,0080	391,5	0,271
	Jun	0,0640	135,7	0,750	0,0039	233,9	0,079	0,0230	357,6	0,711	0,0152	389,3	0,511
	Jul	0,1497	68,35	0,884	0,0070	16,20	0,010	0,1549	129,55	1,734	0,1032	363,30	3,241
	Ago	0,0968	11,40	0,095	*	167		*	321,8		*	498,6	
	Média	0,0484	81,07	0,33	0,0050	153,9	0,1	0,0298	232,6	0,8	0,0299	255,1	0,6
	Mediana	0,028	77,25	0,17	0,004	133,0	0,04	0,013	141,5	0,2	0,013	277,9	0,2
	Desv. P.	0,043	69,17	0,37	0,003	146,5	0,1	0,043	263,8	1,5	0,032	164,1	1,0
	C.V.	88,9	85,31	112,98	52,0	95,2	87,1	144,0	113,4	193,6	106,3	64,3	155,9

Nota: Q - vazão, CP - concentração de fósforo total, QPT - carga de fósforo total, s - curso d'água seco, *problemas técnicos operacionais

Observa-se a diminuição da carga de fósforo total entre as estações DB01 e DB02, e, em seguida um aumento de carga para estação DB03 que não se sofre significativa alteração para estação DB04.

A diminuição da carga de Pt entre as estações amostrais DB02 e DB01, sugere sua remoção das águas fluviais. Esse comportamento, possivelmente, pode ser atribuído à represa localizada a montante da estação DB02, pois o represamento das águas fluviais estaria provocando a retenção de P. Ou ainda, P pode ser incorporado em minerais de fosfato inorgânicos, geralmente Fe e Al, por precipitação, e adsorvido às superfícies de minerais (MAINSTONE; PARR, 2002).

Ressalta-se que a diminuição da carga do fósforo em sistemas fluviais pode estar associada à adsorção das partículas, a maior parte do P nos rios está associada às partículas em suspensão, a elas incorporado por meio de processo de sorção. O fosfato tende a se unir fortemente a partículas finamente granuladas, com isso a sedimentação destas partículas, assim como a sedimentação de partículas orgânicas contendo P, pode removê-lo da água, transferindo-o para o sedimento de fundo (JARVIE *et al.*, 2009).

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para produção de Pt anual por estação amostral no rio Duas Bocas para o período de estudo.

Tabela 9 - Produção anual de PT por estação amostral.

Estação	kg.km ⁻² .ano ⁻¹	kg.ha ⁻² .ano ⁻¹
DB01	4,44	0,044
DB02	0,54	0,005
DB03	1,47	0,015
DB04	1,76	0,018

Conforme observado a estação DB01 tem a maior produção anual de fósforo total. A literatura estima que para bacias hidrográficas com áreas florestadas acima de 90% a concentração de Pt seja de 0,091 kg.ha⁻².ano⁻¹ (OMERIK, 1976 in Chang, 2006), assim sendo, os valores encontrados estão em concordância com literatura.

A redução dos valores de fósforo total anual ao longo do curso d'água, possivelmente foram influenciados pelos valores de vazões reduzidos a partir da estação DB02 e o aumento da área de drenagem considerados nos cálculos.

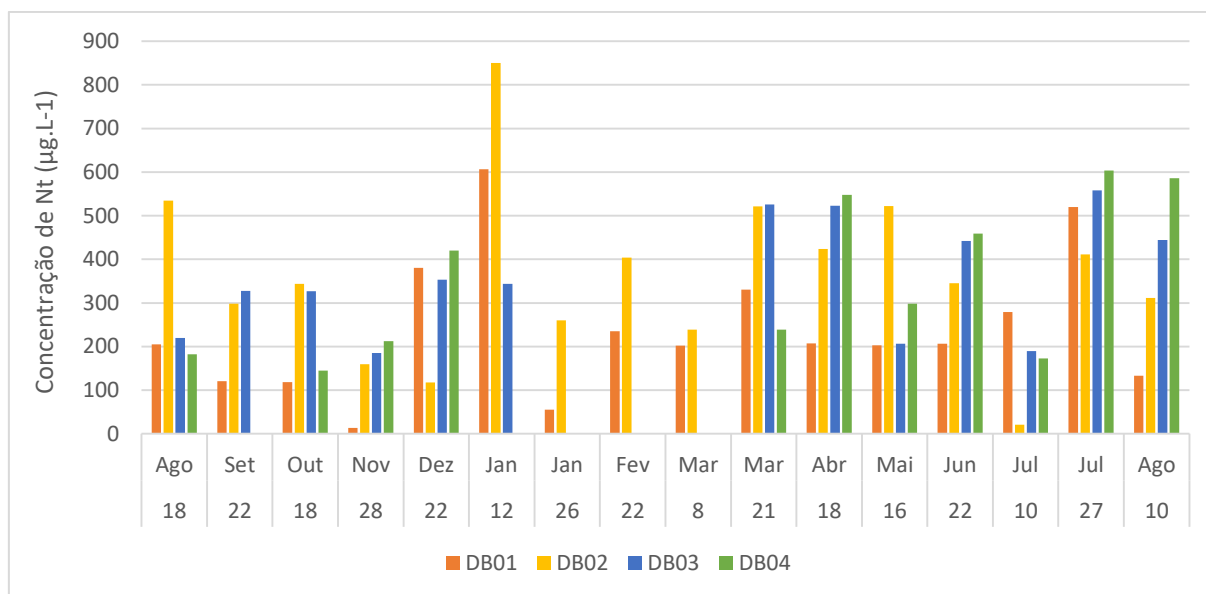
Enfatiza-se que estudos de balanço de massa mostraram que os fluxos de entrada de P nos sistemas fluviais podem não corresponder àqueles medidos em suas fozes, ou seja, o P tende a ser retido dentro dos sistemas fluviais, possivelmente durante o período de vazões baixas, em momentos de maior risco de eutrofização (WITHERS; JARVIE, 2008).

6.5 DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DO NITROGÊNIO

A respeito da distribuição longitudinal do nitrogênio total a concentração máxima e mínima na estação DB01 foi de, respectivamente $606,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $13,10$ com média de $238,39 \mu\text{g.L}^{-1}$. Já a estação DB02 apresentou concentração máxima de $850,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ e mínima de $20,90 \mu\text{g.L}^{-1}$ e, valor médio $360,14 \mu\text{g.L}^{-1}$; já a estação 03 apresentou valor máximo e mínimo respectivamente de $558,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $184,80 \mu\text{g.L}^{-1}$, com média de $357,32 \mu\text{g.L}^{-1}$; por fim, a estação DB04 apresentou valor médio de $351,35 \mu\text{g.L}^{-1}$, máximo de $603,20 \mu\text{g.L}^{-1}$ e mínimo de $144,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Figura 21).

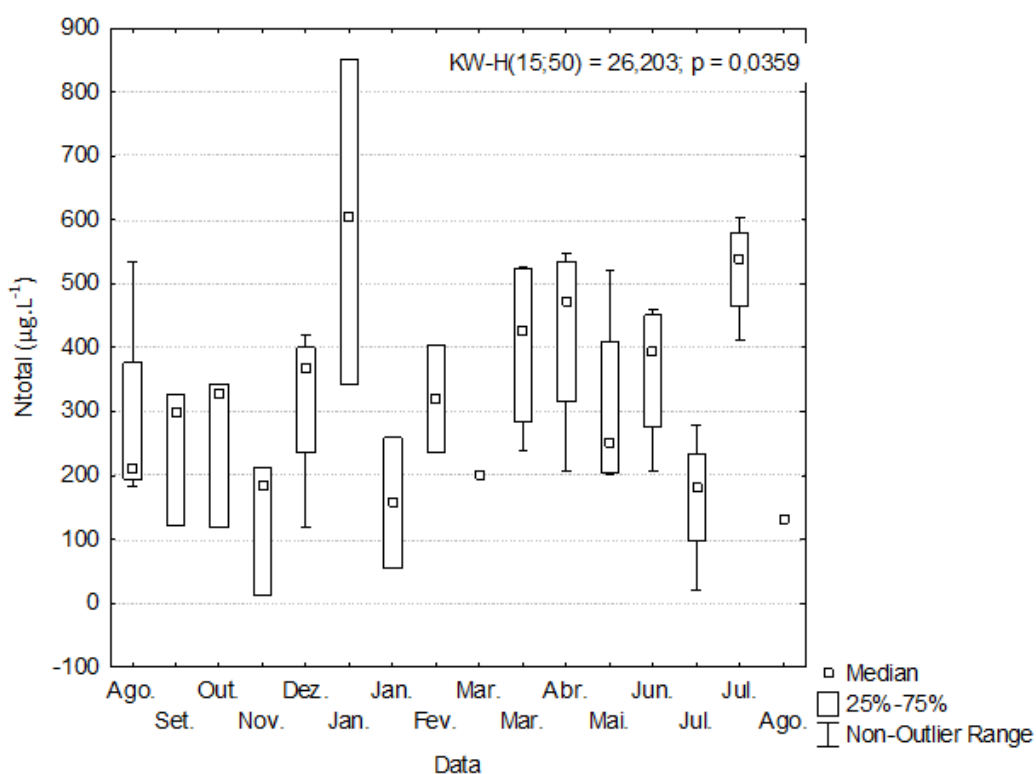
Os valores médios, a mediana, o desvio padrão e o coeficiente de variação apresentados a partir da estação DB02 até a DB04, foram semelhantes, mas discrepantes em relação a estação DB01. Tais características ao longo do perfil longitudinal estão associadas às mudanças nas formas de uso e ocupação da terra, principalmente a ocupação urbana e a agricultura, combinadas à biogeoquímica do N no sistema fluvial.

Figura 21 - Concentração de Nt nas estações amostrais



Foi encontrada uma diferença estatística significativa na concentração deste nutriente durante a campanhas do período de estudo ($p = 0,036$), conforme a Figura 22.

Figura 22 - Concentração de Nt no período de estudo.



Observa-se que as maiores cargas de nitrogênio estão relacionadas aos meses de maior pluviosidade e vazão, isso ocorre devido ao incremento promovido pelas áreas

de agropecuária, resultado do escoamento superficial e o lançamento de efluentes domésticos ao longo do canal, sendo que este último se manteve durante o período de estudo, assumindo que a população residente não tenha sofrido alteração no período das amostragens. Tal resultado está semelhante aos que foram encontrados por Alvim (2016), ao analisar a variabilidade a carga de nitrogênio no rio Piranha – RJ.

Os resultados da correlação de *Spearman* não mostraram correlação entre Pt e Nt nas estações DB01 e DB02, evidenciando que nestes locais os nutrientes têm origens diferentes. O mesmo teste apresentou correlações positivas nas estações DB03 e DB04 entre Nt e Pt (respectivamente, 0,6 e 0,9 $p < 0,05$) indicando que ambos são provenientes da mesma origem, possivelmente antrópica.

Segundo dados da ANA (2013), o município de Cariacica gera uma carga de esgoto de 169.373 kg DBO/dia, porém a carência de estações de tratamento faz com que apenas 64.011 kg DBO/dia sejam tratados, restando 105.362 kg DBO/dia. O remanescente acaba sendo lançado em cursos d'água do município. Na área Na BHRDB existe uma estação de tratamento que não faz a retirada de nitrogênio e fósforo do efluente.

As cargas de nitrogênio total nas estações amostradas da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, que representam o produto das concentrações pelas vazões estão presentes na Tabela 10. As cargas de Nt variaram de 0,12 a 0,49 kg.dia⁻¹ ao longo do canal fluvial.

Tabela 10 - Cargas de N total por dia nas estações amostrais.

Ano	Mês	BD01			DB02			DB03			DB04		
		Q m ³ .s ⁻¹	CN μ.L ⁻¹	QNT Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CN μ.L ⁻¹	QNT Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CN μ.L ⁻¹	QNT Kg.dia ⁻¹	Q m ³ .s ⁻¹	CN μ.L ⁻¹	QNT Kg.dia ⁻¹
2016	Ago	0,0142	205,1	0,252	0,0029	534,3	0,134	0,0039	219,5	0,074	0,0116	182,5	0,183
	Set	0,0139	120,3	0,144	0,0036	298,10	0,093	0,0028	327,80	0,079	*		
	Out	0,0121	118,6	0,124	0,0038	343,90	0,113	0,0003	327,10	0,008	S	144,8	
	Nov	0,0845	13,1	0,096	*	159,5		0,0359	184,80	0,573	0,0392	212,4	0,719
	Dez	0,0912	380,3	2,997	0,0043	117,8	0,044	0,0598	352,9	1,823	0,0505	419,9	1,832
	Jan	0,0228	330,8	0,652	0,0117	554,85	0,563	0,0109	343,60	0,324	S		
2017	Fev	0,0021	235,2	0,043	0,0079	404,2	0,276	S			S		
	Mar	0,0214	266,2	0,493	0,0035	380,15	0,115	0,0170	525,80	0,772	0,0060	238,4	0,124
	Abr	0,0275	206,9	0,492	0,0033	423,9	0,121	0,0066	523,1	0,298	0,0055	547,7	0,260
	Mai	0,0286	202,8	0,501	0,0034	521,9	0,153	0,0127	206,5	0,227	0,0080	298,2	0,206
	Jun	0,0640	206,5	1,142	0,0039	345,3	0,116	0,0230	442,1	0,879	0,0152	459,2	0,603
	Jul	0,1497	399,3	5,165	0,0070	216,0	0,131	0,1549	373,85	5,005	0,1032	388,10	3,462
	Ago	0,0968	132,7	1,110	*	311,3		*	444,2		*	585,6	
	Média	0,0484	216,8	1,02	0,0050	354,7	0,17	0,0298	355,9	0,91	0,0299	347,7	0,92
	Mediana	0,028	206,5	0,49	0,004	345,3	0,12	0,013	348,3	0,32	0,013	343,2	0,43
	Desv. P.	0,043	105,2	1,42	0,003	132,1	0,14	0,043	109,7	1,39	0,032	147,3	1,09
	C.V.	88,9	48,5	139,29	52,0	37,2	80,30	144,0	30,8	151,48	106,3	42,4	118,33

Nota: Q - vazão, CN - concentração de nitrogênio total, QNT - carga de nitrogênio total, s - curso d'água seco, *problemas técnicos operacionais.

A diminuição da carga de N em alguns trechos do rio sugere que parte da carga deste nutriente está sendo removido do sistema aquático. A remoção e retenção do N em sistemas fluviais podem estar relacionadas a processos de formação de gases (N_2) e transferência para a atmosfera, como os processos de nitrificação e desnitrificação, ou ainda por sedimentação de partículas nos trechos com menor turbulência das águas fluviais (BERNOT, 2005).

A diminuição das cargas da carga de N entre as estações amostrais em diferentes meses indica a relação com a diminuição da vazão, ou seja, com a menor vazão, menor turbulência nas águas, resultando na maior sedimentação das partículas orgânicas e mais tempo de residência na bacia, durante os períodos de maior vazão o aumento da descarga e da turbulência tende a promover a ressuspensão do sedimento do fundo (BRANDÃO, 2015).

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para carga de Nt anual por estação amostral no rio Duas Bocas para o período de estudo.

Tabela 11 - Produção de N total por estação amostral anual.

Estação	kg.km ⁻² .ano ⁻¹	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
DB01	12,88	0,9213
DB02	1,47	0,0492
DB03	2,56	0,0554
DB04	3,29	0,0006

Conforme observado a estação DB01 tem a maior produção anual de N total por área. A literatura estima que para bacias hidrográficas com áreas florestadas acima de 90% a concentração de Nt seja de até 3,47 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (OMERIK, 1976 in CHANG, 2006), assim sendo, os valores encontrados estão em concordância com literatura.

Era esperado o aumento da carga por área anual de nitrogênio total a jusante da estação DB01, porém salienta-se que para o cálculo as variáveis vazão e área de drenagem são consideradas. Dessa maneira, as baixas vazões medidas e o aumento da área de drenagem a partir da estação DB01, possivelmente influenciaram na diminuição dos valores de produção de N total ao longo da bacia.

6.6 VARIABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Na Tabela 12 verifica-se as correlações encontradas entre as variáveis físico – químicas analisadas nas 04 estações amostrais distribuídas no perfil longitudinal do rio Duas Bocas. Observa – se a correlação entre os parâmetros de vazão e sólidos em suspensão, além dos sólidos totais dissolvidos com a temperatura, pH, turbidez e condutividade elétrica.

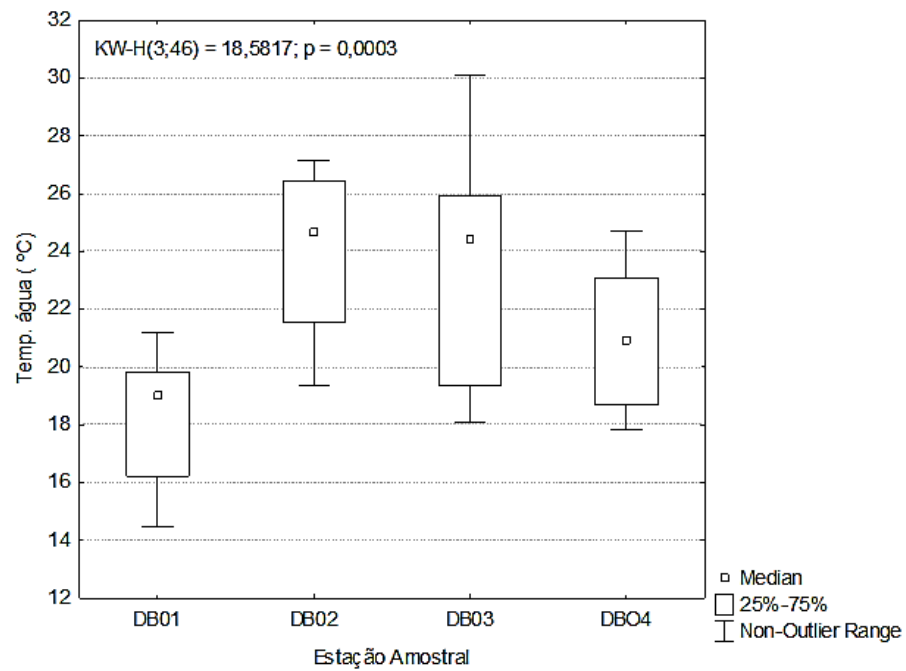
Tabela 12 - Correlação entre as variáveis físico-químicas.

	Vazão	Temp.	OD	pH	CE	STD	Turb.	SS
Vazão	1							
Temp.	-0,63	1						
OD	-	-0,46	1					
pH	0,41	-0,53	-	1				
CE	-	0,38	-0,32	-	1			
STD	-0,27	0,42	-0,33	0,28	0,92	1		
Turb.	-0,37	0,48	-0,54	-	0,56	0,60	1	
SS	0,32	-	-	-	-	-	-	1

6.6.1 Temperatura da água

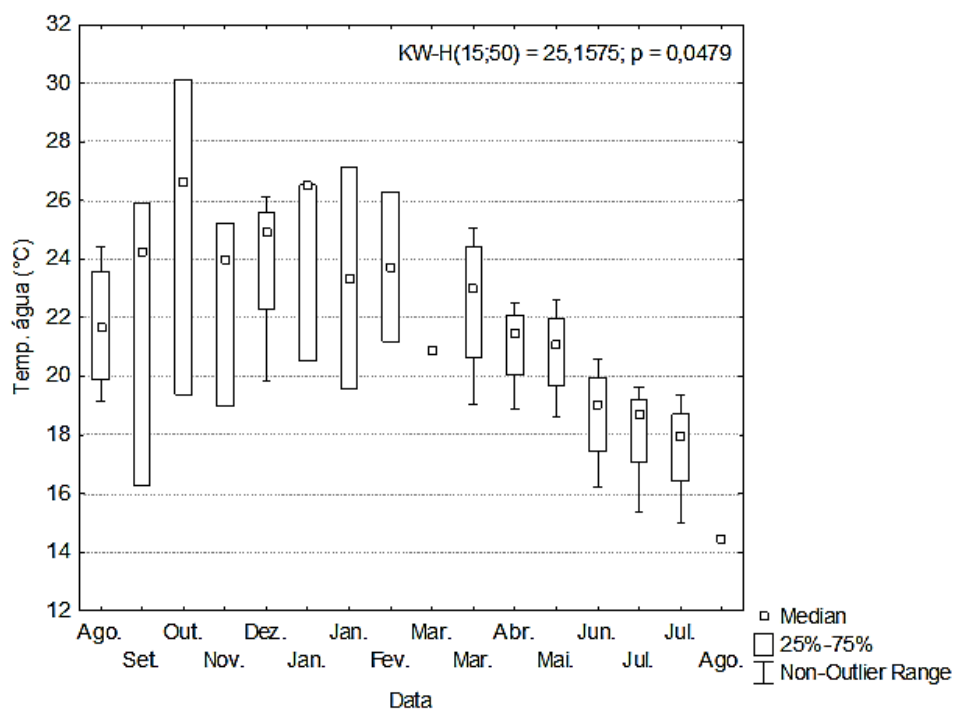
A temperatura das águas fluviais é influenciada por fatores como latitude, altitude, sazonalidade, período do dia e presença ou ausência de cobertura vegetal (BRIGANTE e ESPINHOLA, 2003). A estação DB01 apresentou os menores valores de temperatura ($18,33 \pm 2,09$ °C) seguida da estação DB04 ($21,21 \pm 2,23$ °C), enquanto nas estações DB02 ($24,21 \pm 2,69$ °C) e DB03 ($23,47 \pm 3,33$ °C) foram registradas as maiores temperaturas. Foram encontradas diferenças significativas entre a estação DB01 com as demais estações (Figura 23).

Figura 23 - temperatura d'água nas estações amostrais.



As diferenças observadas durante as amostragens refletem a variação da altitude, a hora do dia em que foram registradas e a cobertura vegetal de porte arbóreo nas estações DB01 e DB04, enquanto as estações DB02 e DB03 são áreas de cultivos agrícolas e pastagens. Constatou-se uma diferença significativa entre a campanha de agosto de 2016 e as campanhas de julho e julho de 2017 (Figura 24), o que pode ser atribuído as temperaturas baixas registradas para as estações DB03 e DB04.

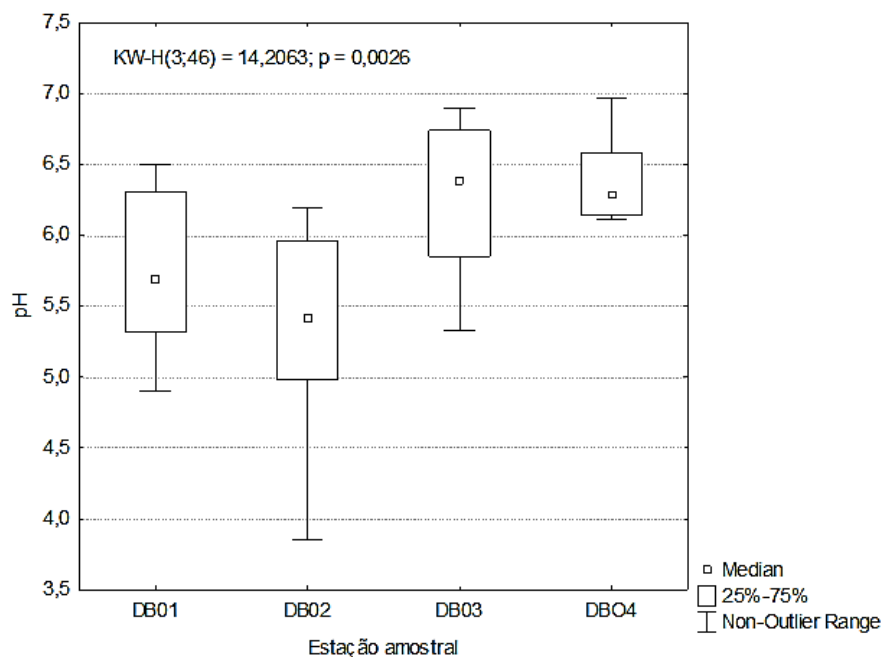
Figura 24 - Temperatura d'água durante as amostragens.



6.6.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Para o parâmetro pH verificou-se diferenças significativas entre as quatro estações amostrais (Figura 25). As variações ocorreram da estação DB02 ($5,34 \pm 0,62$) para estações DB03 ($6,5 \pm 0,48$) e DB04 ($6,17 \pm 0,55$). Também ocorreram diferenças significativas entre as campanhas (KW, $p = 0,0132$). Os resultados mostram valores de pH variando entre uma faixa ácida, seguindo uma tendência dos rios brasileiros de ambientes de mata, assim sendo, a acidez da água está associada a decomposição da matéria orgânica presente no curso d'água e tende a se tornar mais básico a jusante (O'NEILL, 1995; REBOUÇAS et al, 2006).

Figura 25 - pH nas estações amostrais.



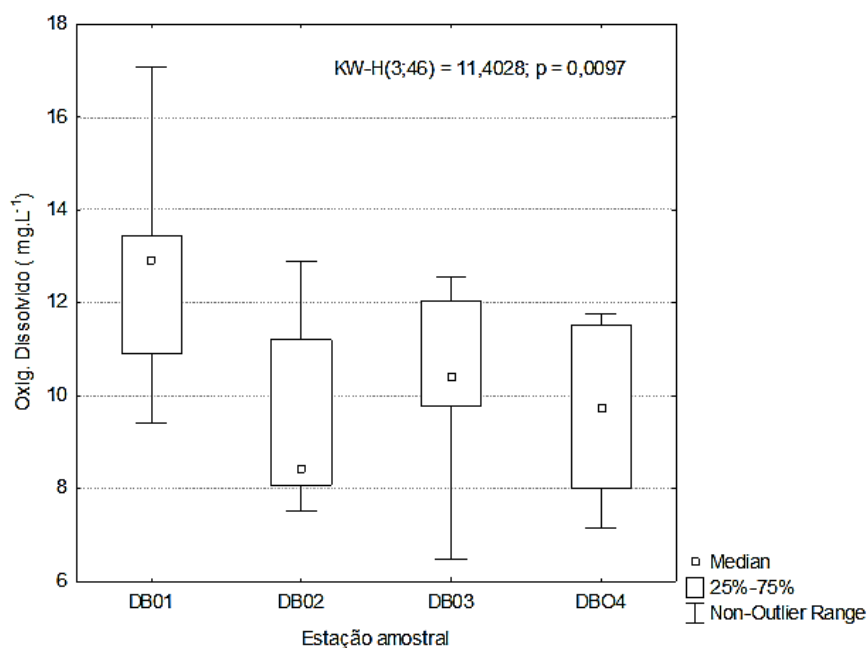
Na estação DB01 apresenta um pH ligeiramente ácido ($5,77 \pm 0,50$) que gradativamente aumenta sentido a jusante do rio, todavia, foram registrados valores baixos na estação DB02, com mínimas de 3,85 ao valor máximo de 6,19. Por estar localizada a jusante de uma estação de tratamento de água possíveis efluentes contendo sulfato de alumínio, utilizado na etapa de floculação da ETA são lançados no rio Duas Bocas causando a redução do pH.

6.6.3 Oxigênio dissolvido (OD)

A determinação deste parâmetro fomenta a avaliação das condições naturais da água, além de indicar impactos ambientais (CARMOUZE, 1994). Espacialmente foi encontrada uma diferença significativa entre as estações amostrais (Figura 26), mas não temporalmente (KW p- 0,0575).

Foram registrados os maiores valores de concentração de OD na estação DB01 ($12,60 \pm 2,11 \text{ mg.L}^{-1}$), que reduziram na estação DB02 ($9,28 \pm 1,74 \text{ mg.L}^{-1}$) e tiveram um ligeiro aumento nas estações DB03 ($10,42 \pm 2,45 \text{ mg.L}^{-1}$) e na estação DB04 ($10,70 \pm 4,60 \text{ mg.L}^{-1}$).

Figura 26 - Oxigênio dissolvido nas estações amostrais.

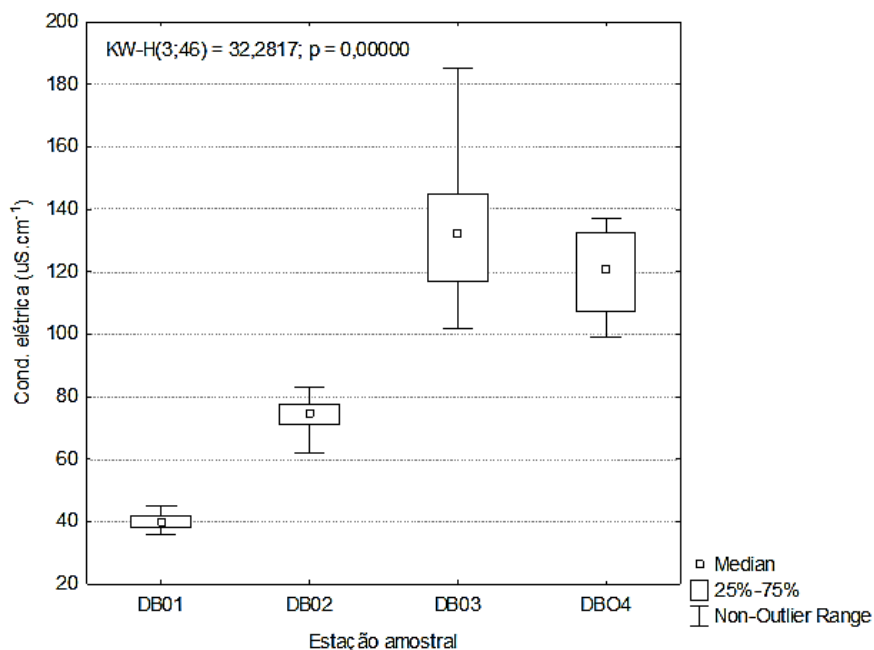


Os valores mais elevados de OD na estação DB01 possivelmente estão associados a baixas temperaturas, o que aumenta solubilidade do O₂. Outro fator a ser considerado é a correnteza desta estação auxiliar no processo de oxigenação da água. A diminuição do OD nas demais estações pode estar associada ao consumo deste parâmetro por bactérias decompositoras, as quais utilizam OD disponível no meio para respiração, após o aporte de matéria orgânica (esgoto).

6.6.4 Condutividade elétrica

A determinação da condutividade elétrica permite verificar a influência antrópica como lançamentos de efluentes e atividades agropecuárias, face à proporcionalidade do parâmetro a quantidade de íons dissolvidos na água. O valor considerado limite para águas naturais é de 100 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ (BRIGANTE e ESPINTOLA, 2003). Os resultados apresentaram uma ampla variação espacial de condutividade ao longo rio Duas Bocas entre todas as estações amostrais (Figura 27).

Figura 27 - Condutividade elétrica nas estações amostrais.

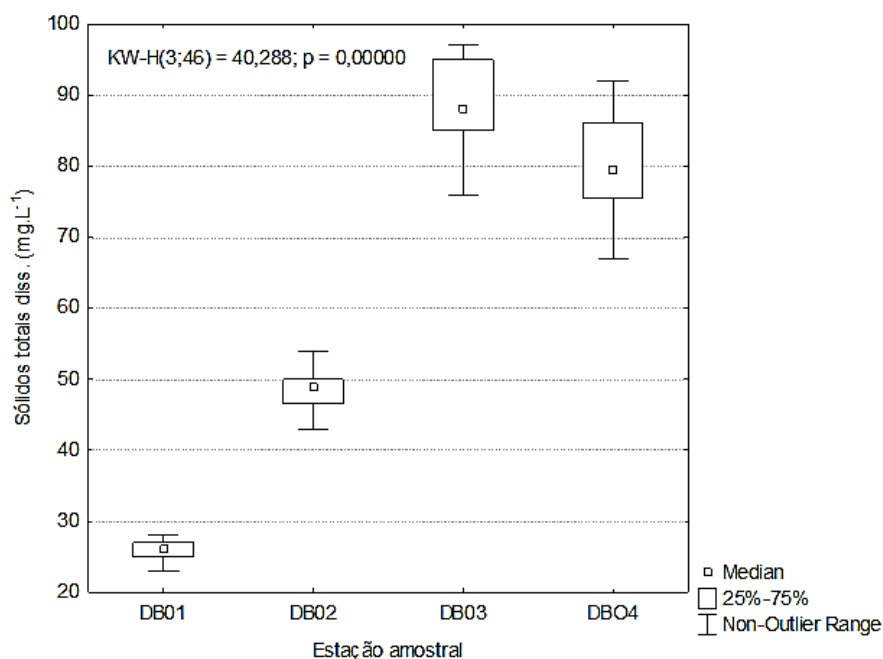


Na estação DB01 foram registrados os menores valores para o parâmetro ($40,27 \pm 2,23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), aumentando gradativamente ao longo do canal, na estação DB02 ($74,50 \pm 5,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), estação DB03 ($136,73 \pm 12,46 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e na estação DB04 ($114,33 \pm 39,76 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Conforme observado a condutividade elétrica apresentou correlação positiva com os parâmetros de sólidos totais dissolvidos e turbidez. O crescimento destes parâmetros indica o aumento de espécies iônicas dissolvidas. Ressalta-se que o comportamento da condutividade elétrica se assemelhou ao dos sólidos totais dissolvidos (Figura 28).

6.6.5 Sólidos totais dissolvidos - STD

A concentração de sólidos totais dissolvidos apresenta valores menores na estação DB01 ($26,47 \pm 1,93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) aumentando na estação DB02 ($48,43 \pm 3,72 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e na estação DB03 ($93,33 \pm 12,46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), com leve diminuição na estação DB04 ($82,77 \pm 10,29 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Espacialmente ocorreram diferenças significativas entre todas as estações amostrais (Figura 28).

Figura 28 - Sólidos totais dissolvidos nas estações amostrais.

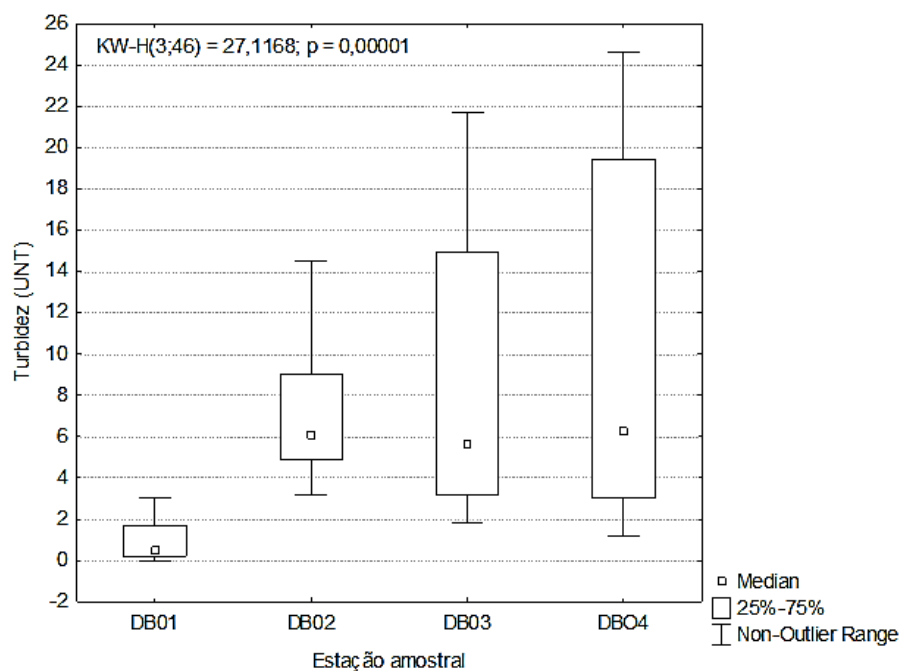


A concentração de sólidos dissolvidos apresentou correlação positiva com a condutividade elétrica e turbidez, indicando possível lançamento de efluentes no corpo hídrico. Salienta-se que entre as substâncias dissolvidas estão o fosfato e nitrato, que compõem o PT e NT, e tiveram suas concentrações aumentadas nas estações DB03 e DB04, assim sendo, possivelmente estão relacionados com o aumento de STD.

6.6.6 Turbidez

A turbidez não apresentou diferenças significativas entre as campanhas (KW $p=0,4043$). A concentração de turbidez apresentou diferenças significativas da estação BD01 em relação as demais, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Turbidez nas estações amostrais.



A estação DB01 apresentou os menores valores de turbidez ($0,89 \pm 0,91$ UNT). Foi registrado o aumento do parâmetro ao longo do canal fluvial, na estação DB02 ($7,18 \pm 3,24$ UNT), estação DB03 ($6,5 \pm 0,48$ UNT) e na estação DB04 ($6,17 \pm 0,55$ UNT). Ressalta-se que a turbidez das águas é causada pela dispersão dos rios luminosos devido à presença de partículas em suspensão, desse modo, os resultados indicam um aumento de partículas em suspensão nas áreas de cultivos agrícolas e pastagem. A amplitude nas estações DB03 e DB04 possivelmente está associada a variabilidade da vazão nestes locais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados expressam alta variabilidade dos parâmetros analisados ao longo do perfil longitudinal do rio Duas Bocas, evidenciando que os usos e cobertura da terra, as condições pluviométricas e as características da bacia são fatores com influência direta nas condições ambientais do sistema fluvial.

Os efeitos da sazonalidade interferiram diretamente nos resultados, influenciando nos valores de vazão medidos nas estações amostrais. Conforme observado os acumulados pluviométricos mensais registrados ficaram abaixo da normal de precipitação, contribuindo para a interrupção da vazão nas estações DB03 e DB04 nos meses de menor pluviosidade. A estação DB01 apresentou os maiores valores de vazão, mesmo em períodos de estiagem, constatando o papel da floresta na preservação de nascentes e consequentemente na produção de água.

As concentrações de sólidos em suspensão, nitrogênio total e fósforo total foram menores na estação DB01, área florestada, e aumentaram gradativamente a cada estação salientando o aporte destes parâmetros sentido a jusante do rio Duas Bocas. Contudo, quando calculadas as cargas e a produção destes parâmetros para cada estação amostral, a maior produção foi encontrada na estação DB01. Apesar deste quadro os valores de concentração, carga e produção de nutrientes na estação DB01 estão em concordância com a literatura.

Assim sendo, os menores valores de produção nas estações DB02, DB03 e DB04 podem ser atribuídos as menores vazões, o menor n amostral e maior área de drenagem que são variáveis utilizadas para o cálculo de produção. Dessa forma, para o período estudado a utilização da concentração dos nutrientes mostra-se um meio mais efetivo de análise das condições ambientais do rio.

Conforme visto, a estação DB01 é responsável pelo maior aporte de sedimentos, ocorrendo no terço baixo da bacia a deposição dos materiais transportados, assim sendo, estão sendo depositados o longo do canal de drenagem. Vale ressaltar que a represa de Duas Bocas e estação de tratamento de água de Duas Bocas, localizadas a montante da estação DB02 exerce influência direta na dinâmica hidrossedimentológica do rio Duas Bocas.

Os parâmetros físicos – químicos evidenciaram efeitos de atividades antrópicas a partir da estação DB02. A diminuição do oxigênio dissolvido aponta o aporte de matéria orgânica (esgoto), o que é corroborado pela correlação positiva entre os sólidos totais e condutividade elétrica, salientando o aumento de íons dissolvidos nas águas provenientes de lançamentos de efluentes.

Por fim, a represa de Duas Bocas exerce um importante fator de controle de diversos parâmetros analisados neste trabalho (sólidos em suspensão, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, turbidez, temperatura da água e vazão fluvial), uma vez que minimiza os fluxos hidrossedimentológicos e de nutrientes provenientes das águas dos córregos Pau Amarelo, Panelas, Naiá-Assú e Sertão Velho.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>> Acesso em 02 Jun. 2018.
- AGUILERA, R.; MARCÉ, R.; SABATER, S. Linking in-stream nutrient flux to land use and inter-annual hydrological variability at the watershed scale. **Science of the total environment**, v. 440, p. 72-81, 2012.
- ALVIM, RENATA BARBOSA. **Dinâmica do nitrogênio e fósforo em águas fluviais de uma bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no Sudeste do Brasil**. 2016. 143 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Denver: APHA, 2005.
- BARROSO, H. S.; BECKER, H.; MELO, V. M. M. Influence of river discharge on phytoplankton structure and nutrient concentrations in four tropical semiarid estuaries. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 1, p. 37-48, 2016.
- BASTOS, K. V; LÓPEZ, J. F. B; MARCHIORO, E; GONÇALVES, A. O. **Ritmo Pluviométrico da Bacia do Rio Duas Bocas (ES)**. I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias – SASGEO. Uberaba – MG, 2015.
- BIDONE, E.D., SILVA FILHO, E.V., GUERRA, T., BARROSO, L.V. and Ovalle, A.R.C. (1999). Natural and Cultural Nutrient Levels in rivers of Small Coastal watersheds, S-SE, Brazil. In: Knoppers, B., Bidone, E.D. and Abrão, J.J. (eds.) **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Sub-regions, Rio de Janeiro, Brazil**. UFF/ FINEP. Série Geoquímica Ambiental 6: 89-103.
- BIGARELLA, J. J; SUGUIO, K. **Ambiente Fluvial**. Curitiba, Editora Universidade Federal do Paraná e Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979. 172p.
- BRANDÃO, V. S. **Geoquímica das áreas fontes e dos sedimentos em suspensão na bacia do rio Piabanha – RJ**. Niterói, 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Geociências – Geoquímica Ambiental) – Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.
- BRANDT, S. A., **Classification of Geomorphological effects downstream of dams CATENA**, v. 40, Issue 4, 2000. p. 375-401.
- BRIGATE, J.; ESPÍNDOLA, G.L.E. Liminologia fluvial - Um estudo no rio MogiGuaçu. São Carlos. **RIMA**. 278p. 2003.
- CARMOUZE, J. P. 1994. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. Editora Edgard Blücher/ FAPESP. São Paulo. 253p.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, p. 618-622, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Editora Interciência, 2008.

CHANG, M. **Forest hydrology: an introduction to water and forests**. CRC press, 2006.

CHORLEY, R. J. **Geomorphology and general systems theory**. Washington, DC: US Government Printing Office, 1962.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec – Edusp, 1979. 106 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. E. Blucher, 1981.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**, v. 2, p. 93-148, 1995.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens-Fluvial Geomorphology Of Rivers Impacted From Dams. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 26, 2008.

CUPERTINO, W. **Áreas de contribuição e aporte hidrossedimentológico no reservatório de Duas Bocas - Cariacica – ES**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.

DODDS, W. K. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. **Limnology and Oceanography**, v. 51, n. 1part2, p. 671-680, 2006.

DODDS, W. K.; OAKES, R. M. Headwater influences on downstream water quality. **Environmental management**, v. 41, n. 3, p. 367-377, 2008.

DODDS, W. K.; SMITH, Val H. **Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams**. Inland Waters, v. 6, n. 2, p. 155-164, 2016.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water: in environmental planning**. United State of America. 1978. 818 p.

ELLEDGE, A.; THORNTON, C. Effect of changing land use from virgin brigalow (*Acacia harpophylla*) woodland to a crop or pasture system on sediment, nitrogen and phosphorus in runoff over 25 years in subtropical Australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 239, p.119-131, fev. 2017. Elsevier BV.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 388 p.

F.A.O., 2016. World fertilizer trends and outlook to 2019. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division. Rome, Italy.

FONSECA, B. M.; GALVÃO, L. M.; FONSECA, C. P.; ABREU, L. M.; FERNANDES, A. C. M. **Nutrient baselines of Cerrado low-order streams: comparing natural and impacted sites in Central Brazil.** *Environmental monitoring and assessment*, v. 186, n. 1, p. 19-33, 2013.

FRYIRS, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30-46, 2013.

GALLO, L. C. S. et al. Geologia, Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória ao Milionésimo. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro: MME, 1983. v. 32, p. 27-304.

GRUBER, N.; GALLOWAY, J. N. **An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle.** *Nature*, v. 451, n. 7176, p. 293-296, 2008.

GÜCKER, B.; SILVA, R., GRAEBER, D., MONTEIRO, J. A., BROOKSHIRE, E. N.; CHAVES, R. C.; BOECHAT, I. G. **Dissolved nutrient exports from natural and human-impacted Neotropical catchments.** *Global Ecology and Biogeography*, v. 25, n. 4, p. 378-390, 2016.

GUZHA, A. C. et al. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 15, p. 49-67, 2018.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. **Nonparametric statistical methods**. 1999.

JACOBS, S. R. et al. Land use affects total dissolved nitrogen and nitrate concentrations in tropical montane streams in Kenya. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 603-604, p.519-532, dez. 2017. Elsevier BV.

JARVIE, H.P. et al. Streamwater phosphorus and nitrogen across a gradient in rural–agricultural land use intensity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 135, n. 4, p.238-252, fev. 2010. Elsevier BV.

LEONE, A. et al. Phosphorus export from agricultural land: a simple approach. **Biosystems Engineering**, [s.l.], v. 101, n. 2, p.270-280, out. 2008. Elsevier BV.

LWIN, C. M.; MURAKAMI, M.; HASHIMOTO, S. The implications of allocation scenarios for global phosphorus flow from agriculture and wastewater. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 122, p.94-105, jul. 2017. Elsevier BV.

MACHADO FILHO, L. et al. Geologia, Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória ao Milionésimo. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro: MME, 1983. v. 32, p. 27-304.

MAINSTONE, C. P.; PARR, W. **Phosphorus in rivers -ecology and management.** *The Science of the Total Environment*, [s.l.], v. 285, n. 282, p.25-47, jan. 2002.

MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. **Threats to the running water ecosystems of the world**. Environmental conservation, v. 29, n. 2, p. 134-153, 2002.

MARTINELLI, L. A., COLETTA, L. D., RAVAGNANI, E. C., CAMARGO, P. B., OMETTO, J. P. H. B., FILOSO, S.; VICTORIA, R. L. **Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil**. Brazilian Journal of Biology, v. 70, n. 3, p. 709-722, 2010.

MARTINELLI, L. A., COLETTA, L. D., RAVAGNANI, E. C., CAMARGO, P. B., OMETTO, J. P. H. B., FILOSO, S.; VICTORIA, R. L. **Dissolved nitrogen in rivers: comparing pristine and impacted regions of Brazil**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, n. 3, p. 709-722, 2010.

MARTINS, D. D. M.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. D. O.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1054-1061, 2011.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MILLIMAN, J. D.; FARNSWORTH, K. L. Runoff, erosion, and delivery to the coastal ocean. **River discharge to the coastal ocean: a global synthesis**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 13-69, 2011.

MOORE, D. S.; MCCABE, G. P. Introdução à prática da estatística. **Trad. FARIAS, AA**, 2002.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. National Soil Resources Institute, Cranfield University. Ed. 3, Third Edition, 2005.

NAKAGAWA, H.; TSUJIMOTO, T.; MURAKAMI, S.; GOTOH, H. Transition mechanism for saltation to suspension in bed-material-load transport. **J.Hydroscience and Hydraulic Engineering**, 1990, Vol.8(1), pp.44-54.

NEILL, C.; DEEGAN, L.A.; THOMAS, S. M.; C.C. CERRI. **Deforestation for pasture alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams**. Ecological Applications, v. 11, n. 6, p. 1817-1828, 2001.

O'NEILL, P. **Environmental chemistry**. London: Champman and Hall, 1995.

OLIVEIRA, F. S. **Mapeamento da Vegetação Urbana de Distribuição Espacial de Temporal De Ilhas De Calor**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

PERRONE, A. **Estudos preliminares sobre a Carga de Sólidos Transportados, Parâmetros Morfométricos e Pluviométricos da Bacia do Córrego Pau Amarelo – Reserva Biológica de Duas Bocas – ES**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1995.

PRINGLE, C. **What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important?** *Hydrological Processes*, 17, 2003. p. 2685-2689.

QUEIROGA, Gláucia Nascimento; SOARES, Antônio Carlos Pedrosa; JÚNIOR, Jorge Geraldo Roncato; DIAS, Paulo Henrique Amorim, GUIMARÃES, Henrique Alvim; COUTINHO, Mariana Oliveira Gondin; FREITAS, Natália Cota de; GRADIM, Camila Tavares; BRAGA, Flávia Cristina Silveira; NOVO, Tiago Amâncio. **Geologia e recursos minerais da folha Nova Venécia SE.24-Y-B-IV, estado do Espírito Santo, 153 escala 1:100.000**. Gláucia Nascimento Queiroga... [et al.]; organizador Luiz Carlos da Silva. – Belo Horizonte: CPRM, 2012.

REBOUÇAS, A. C. “Água Doce no Mundo e no Brasil”, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, 3a ed., São Paulo – SP, Editora Escrituras.2006.

RODRIGUES, V., ESTRANY, J., RANZINI, M., DE CICCIO, V., MARTÍN-BENITO, J. M. T., HEDO, J., & LUCAS-BORJA, M. E. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil). **Science of The Total Environment**, 2017.

RODRÍGUEZ-BLANCO, M. L.; TABOADA-CASTRO, M. M.; TABOADA-CASTRO, M. T. Phosphorus transport into a stream draining from a mixed land use catchment in Galicia (NW Spain): Significance of runoff events. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 12-21, 2013.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia** nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SANTOS, JAMES RAFAEL ULISSES. dos. **Evolução da Vulnerabilidade a erosão dos solos da bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas (ES)**. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

SILVA, A. M; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. RIMa, 2007, 2ª edição.

SILVA, J. S. O. *et al.* Effects of land cover on chemical characteristics of streams in the Cerrado region of Brazil. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 105, n. 1-3, p.75-88, 4 dez. 2010.

STEVANUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1990.

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A. F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A C; BRAGA, Benedito P. Ferreira; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. {s.l.}: Escrituras, 2006. p. 305-336.

TUCCI, C. E. Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil. **Global Water Partenership**, 2004.

VALLE JUNIOR, Renato F. *et al.* Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. **Land Use Policy**, [s.l.], v. 43, p.48-62, fev. 2015. Elsevier BV.

VERCRUYSSSE, Kim; GRABOWSKI, Robert C.; RICKSON, R.j. Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. **Earth-science Reviews**, [s.l.], v. 166, p.38-52, mar. 2017. Elsevier BV.

VESTENA, L. R. Análise da dinâmica hidrossedimentológica em uma bacia hidrográfica no sul do Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, 2009.

VITOUSEK, Peter M. *et al.* **Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences**. Ecological applications, v. 7, n. 3, p. 737-750, 1997.

VOGT, E., BRABAN, C. F., DRAGOSITS, U., DURAND, P., SUTTON, M. A., THEOBALD, M. R., BILLET, M. F. Catchment land use effects on fluxes and concentrations of organic and inorganic nitrogen in streams. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 320-332, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 2005.

WAGNER, I. 2009. **Phosphorus: aquatic ecosystems external supply and balance against hydrological patterns of tributaries**. In: Chicharo, L., Wagner, I., Chicharo, M. Lapinska, M. and Zalewski, M. 2009. Practical experiments guide for Ecohydrology. UNESCO. 114p.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Estimating the discharge of contaminants to coastal waters by rivers: some cautionary comments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 16, n. 12, p. 488-492, 1985.

WEAR, D.N.; TURENER, M.G. AND NAIMAN, R.J. Landcover along an urban-rural gradient: implications for water quality. **Ecological Applications**, 8(3): 619-630. 1998.

WINTERS, P. J.A.; JARVIE, H.P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. **Science of The Total Environment**, v. 400, n. 1-3, p. 379 -395, 2008. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.08.002.

WORRALL, Fred *et al.* The flux of dissolved nitrogen from the UK Evaluating the role of soils and land use. **Science of the total environment**, v. 434, p. 90-100, 2012.